

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Optimalizace výrobního postupu**  
Proposal for Optimizing of the Production Proces

Student:

Bc. Richard Turek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Richard Turek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Optimalizace výrobního postupu**  
**Proposal for Optimizing of the Production Process**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Rozbor problematiky.
3. Návrh optimalizačních řešení.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

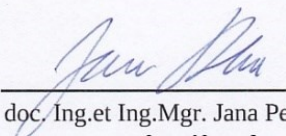
- [1] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J.; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80–968954–2–7.  
[2] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠTÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha: SNTL, 1989, 340 s. ISBN 04–252–89.  
[3] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80–968954–2–7.  
[4] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978–80–254–2250–2.  
[5] ČSN EN ISO 4288:1997 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Pagáč, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

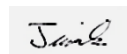


  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2017



podpis studenta

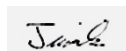
Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena a v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložena u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 05. 2017

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:



Podpis

Bc. Richard Turek

Jasanová 14

678 01 Blansko

#### Anotace diplomové práce

Turek, R. Optimalizace výrobního postupu: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 60 s. Vedoucí práce: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie výroby součástí Traeger (dále jen Nosník). Po uvedení do problematiky je v práci popsána původní technologie výroby na čtyřosém horizontálním obráběcím centru, je rozepsána inovativní technologie výroby a varianty nového řešení. V další části je popsán návrh nového technologického postupu a v závěru se práce zabývá technickým a ekonomickým zhodnocením stávajícího a nového způsobu výroby.

#### Thesis Annotation

Turek, R. Optimizing the production process: Thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering Department of machining, assembly and engineering metrology, 2017, 60 pp. Supervisor: Ing. Marek Pagáč, Ph.D. This thesis is engaged in designing new technology components Traeger (the beam). After the introduction to the originally describes the technology used to manufacture four-axis horizontal machining center, and discusses possible options for a new solution. The next section describes the design of a new technological process and in the end will address the technical and economic evaluation of existing and new methods of production.

### **Poděkování**

Dovoluji si poděkovat panu Ing. Marku Pagáčovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky, kterými přispěl při tvorbě této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat majitelům a zaměstnancům firmy Frentech Aerospace, s. r. o., kteří mi umožnili vypracovat tuto diplomovou práci.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektů SP2017/147 Specifický výzkum v oblasti výrobních technologií a SP2017/149 Výzkum produktivních a ekologicky úsporných výrobních technologií s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a navazujících magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	8
1. Úvod .....	10
1.1 Představení firmy .....	10
1.2 Používané materiály .....	12
1.3 Zadaná součást .....	13
1.4 Materiál součásti .....	14
2. Rozbor problematiky a současný stav .....	15
2.1 Současný stav .....	15
2.2 Původní technologie (příprava polotovaru).....	17
2.3 Původní technologie (výroba součásti) .....	20
3. Návrh optimalizačních řešení .....	28
3.1 Řezné nástroje .....	28
3.2 Držáky nástrojů .....	30
3.3 Upnutí obrobku .....	33
3.4 Obráběcí stroj .....	33
3.5 Nová technologie (příprava polotovaru) .....	35
3.6 Nová technologie (výroba součásti).....	38
3.7 Robot pro zakládání polotovarů .....	45
3.8 Návrh nového technologického postupu .....	46
4. Technicko-ekonomické zhodnocení .....	47
4.1 Čas přípravy a čas obrábění .....	47
4.2 Ekonomické zhodnocení .....	48
4.3 Technické vyhodnocení .....	50
5. Závěr.....	51
6. Zdroje .....	52
6.1 Internetové zdroje.....	52
6.2 Tištěné zdroje.....	59
7. Seznam příloh.....	60

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$a_e$	Radiální hloubka řezu	[mm]
$a_p$	Axiální hloubka řezu	[mm]
CAD	Computer Aided Design [Počítačem podporované navrhování]	
CAM	Computer Aided Manufacturing [Počítačem podporovaná výroba]	
CNC	Computer Numerical Control [Řízení obráběcího stroje počítačem]	
ČSN EN	Evropská norma převzatá do národního systému norem ČR	
EN	Evropská norma	
ERS	Erowa Robot System	
$f$	Posuv	[mm]
$f_n$	Posuv na otáčku	[mm]
$f_z$	Posuv na zub	[mm]
HBW	Zkouška tvrdosti dle Brinella s kuličkou	
$h_m$	Průměrná tloušťka odřezávané třísky	[mm]
HSS	High Speed Steel	
$l$	Délka opracované plochy	[mm]
$L$	Dráha nástroje ve směru posuvu	[mm]
$l_n$	Délka náběhu	[mm]
$l_p$	Délka přeběhu	[mm]
$n$	Otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$N$	Výrobní cena	[Kč]
$N_{10,1}$	Výrobní cena pro 10 kusů – původní způsob výroby	[Kč]
$N_{30,1}$	Výrobní cena pro 30 kusů – původní způsob výroby	[Kč]
$N_{50,1}$	Výrobní cena pro 50 kusů – původní způsob výroby	[Kč]
$N_{100,1}$	Výrobní cena pro 100 kusů – původní způsob výroby	[Kč]
$N_{200,1}$	Výrobní cena pro 200 kusů – původní způsob výroby	[Kč]
$N_{10,2}$	Výrobní cena pro 10 kusů – nový způsob výroby	[Kč]
$N_{30,2}$	Výrobní cena pro 30 kusů – nový způsob výroby	[Kč]
$N_{50,2}$	Výrobní cena pro 50 kusů – nový způsob výroby	[Kč]
$N_{100,2}$	Výrobní cena pro 100 kusů – nový způsob výroby	[Kč]
$N_{200,1}$	Výrobní cena pro 200 kusů – původní způsob výroby	[Kč]



NC	Numerical Control - číslicové řízení	
PC	Personal Computer	
PM	Powder Metallurgy	
R <sub>m</sub>	Pevnost v tahu	[N × mm <sup>-2</sup> ]
R <sub>p</sub>	Mez průtažnosti (kluzu)	[N × mm <sup>-2</sup> ]
SK	Slinutý karbid	
t <sub>AS</sub>	Jednotkový strojní čas	[min]
t <sub>ASVS</sub>	Jednotkový strojní čas výroby součásti	[min]
t <sub>ASVSN</sub>	Jednotkový strojní čas výroby součásti nová technol.	[min]
t <sub>ASPP</sub>	Jednotkový strojní čas přípravy polotovaru	[min]
t <sub>ASPPN</sub>	Jednotkový strojní čas přípravy polotovaru nová technol.	[min]
T <sub>ž</sub>	Teplota žíhání	[°C]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
v <sub>c</sub>	Řezná rychlost	[m × min <sup>-1</sup> ]
v <sub>f</sub>	Rychlost posuvu	[mm × min <sup>-1</sup> ]
z	Počet zubů	[-]

# 1. Úvod

Téma této práce vzniklo v oddělení plánování výroby ve firmě Frentech Aerospace, s.r.o. V této společnosti jsem měl možnost vypracovat svou bakalářskou práci. Jsem rád, že majitelé firmy souhlasili s mojí žádostí o vypracování diplomové práce, právě zde. Mohl jsem tak čerpat ze znalostí firmy a osobních kontaktů, které jsem získal již před dvěma lety. Za tu dobu zde proběhla řada změn. Firma se ještě více angažuje v realizacích projektů pro kosmický průmysl. Obráběcí stroje jsou využívány ve dvousměnném a třisměnném provozu. U takto používaného strojního vybavení se tedy musí počítat s tím, že se začínají objevovat poruchy, začíná se projevovat vůle na vřetení, technické parametry strojů jsou dnes vzhledem k roku výroby strojů překonány. Efektivní využívání moderních řezných nástrojů v tomto oboru od obráběcích strojů požaduje mimo jiné chlazení středem nástroje, vysoké tuhosti a přesnosti v soustavě vřeteno – upínač - nástroj, odpovídající pracovní posuvy a pro karbidové nástroje s malými průměry i odpovídající otáčky nad  $10\,000\text{ min}^{-1}$ . To jsou přesně ty důvody, proč je nutné čtyřosé horizontální obráběcím centru Mazak H400N, na kterém se součástka Nosník vyrábí nahradit novou technologií a výrobní postup optimalizovat. Záměrem managementu firmy je stále funkční stroj H400N odprodat pro méně náročnou výrobu. Uvolněná výrobní plocha bude využita pro nákup a ustavení nového stroje. Od takového řešení se mimo jiné očekává, že při zachování kvality výroby dojde k jejímu zrychlení a bude dosaženo ekonomického přínosu. Splnění tohoto úkolu bude složité už kvůli tomu, že stávající technologie z velké části využívá karbidových nástrojů. Obráběcí strategie používaná ve firmě byla vytvořena a optimalizována pomocí CAM softwaru a programu SolidCAM 2015 – k dispozici byl také Camware (CAM software od dodavatele a výrobce obráběcích strojů společnosti Mazak). Na vstupních dveřích do výrobní haly je umístěna cedule informující o skutečnosti, že Frencken Brno, s. r. o. byl prvním závodem v Evropě řízený systémem CPC (Cyber Production Center). Projekt byl realizován za pomoci Mazak Europe Misan, s. r. o.. Tento systém řízení je používán na všech manažerských a výrobních pracovištích, je s ním propojeno nástrojové hospodářství, sleduje úroveň vytížení obráběcích strojů, podle čísla zakázek a výrobních objednávek informuje o stavu rozpracovanosti výroby a případných kooperacích.

## 1.1 Představení firmy

Firma Frentech Aerospace, s. r. o., vznikla v roce 1994. s cílem stát se platným a konkurenci schopným dodavatelem výrobků v oboru přesné mechaniky. Je to zcela česká společnost, kde našlo uplatnění 105 zaměstnanců. Mimo zajištění výroby dílů především

trískovým obráběním, zajišťuje technické a technologické poradenství. Od počátku se zaměřuje na specializovanou výrobu s vysokou přidanou hodnotou, ve které je konkurence schopná a vyhýbá se jednoduché hromadné a sériové výrobě, kde v obrovských sériích velkou část nákladů tvoří materiál, přidaná hodnota je však malá. Předpokládaný obrát za rok 2016 je cca 250 miliónů korun, z toho 96 ÷ 99 % výroby je určeno pro export, a to hlavně do zemí EU. 85% výroby patří do oboru aerospace, z toho 3/4 produkce představuje letecký průmysl a 1/4 vesmírný průmysl.

V leteckém průmyslu je společnost dodavatelem dílů pro letadla typu Airbus, v A320 jsou to díly do autopilota, A350 podvozkové skupiny a uchycení sedaček, A380 díly do kormidla, A400M díly do klimatizace. V letadle Boeingu 787 jsou to díly ve vnitřní struktuře letadla. V letadle typu Embraer se jedná o mechanismus otvírání dveří, díly do klimatizace atd.

V kosmickém průmyslu firma v roce 2013 vyhrála výběrové řízení na mechanismy pro otvírání solárních panelů pro americké civilní satelity Iridium Next. V rámci realizace projektu **ESO** (Evropská jižní observatoř) firma dodávala pozlacená zrcadla a mechanismus jejich naklápění pro systém ALMA, kde systém v počtu 66 velkých antén umístěných v chilské poušti Atacama pracující s radiosignály o frekvenci kolem 115 gigahertzů prohledává vesmírné galaxie vzdálené až 100 miliónů světelných let. Při realizaci projektu **ESA** (Evropská kosmická agentura a jejím členem je také Česká republika.) se firma zapojuje do výroby satelitních systémů, vědeckých satelitů a raketových nosičů. V rámci mise ExoMars 2016 firma dodávala speciální hepafiltry, které jsou již dnes na Marsu. Jedná se o speciální box vybavený filtry, který umožňuje vyhodnocovat odebrané vzorky atmosféry zbavené prachových částic. V současné době se ve firmě pracuje na dalších projektech, kde realizace podskupiny dílů pro misi ExoMars 2018 je již ve fázi podepsání předběžného kontraktu. Jde o dodávku tzv. kanystru, což je zařízení o rozměru 1m<sup>3</sup>, v němž bude uložen přistávací systém padáku modulu na Mars. Před podpisem smlouvy je projekt MAG Boom pro misi Juice, který se týká rozsáhlého satelitu, který bude vyslán k Jupiteru, na jehož výrobě se podílí prakticky celá Evropa.

V letech 2015 a 2016 firma proinvestovala cca 70 miliónů korun, další investice půjdou do vesmírného průmyslu. Počítá se s nákupem dvou analytických přístrojů - jeden bude čítač částic a druhý bude určen pro měření molekulární čistoty. [1, 2, 3]

Společnost má zaveden moderní a zákazníky požadovaný systém managementu kvality dle ČSN EN ISO 9001:2009, ČSN EN 9100:2003, podle standartu německého svazu leteckého a kosmického průmyslu QSF-A. Vedle kvality svých produktů a procesů

společnost sleduje a řídí i jejich dopad na životní prostředí a udržuje bezpečné a zdravé neohrožující pracovní prostředí. [4]

## 1.2 Používané materiály

Společnost se zabývá se výrobou a dodávkami obráběných dílů ze slitin hliníku, titanu, nerezových ocelí a niklových slitin.

Nejvíce obráběným materiálem ve Frentechu je hliník a jeho slitiny (cca 65%). Podstatná část použitých hliníkových slitin je právě pro letecký průmysl, který se používá z důvodu malé hmotnosti a dobrých mechanických vlastností zejména při nízkých teplotách. Použitím legujících prvků jako je měď, mangan, křemík, zinek a železo se jeho vlastnosti ještě vylepšují. Nejčastěji používanou slitinou je ENAW6061 (3.3211) a ENAW6082 (3.2315). Slitiny hliníku mají dobrou obrobitelnost. Pracovní teploty jsou většinou nízké a je možné použít vysokých řezných rychlostí. K obrábění slitiny Al se používá pozitivní ostrý břit s dostatečně velkým úhlem čela, který zaručuje dobrý odchod třísky a zamezuje vytváření nárustků. Jako řezný materiál se obvykle používá nepovlakovaný, jemnozrnný typ slinutých karbidů, nejčastěji s leštěným čelem břitu.

Druhým nejčastěji používaným materiálem ve firmě Frentech je titan a jeho slitiny (cca 25%). Tyto materiály jsou díky svým vlastnostem nejpoužívanějším základním materiálem při výrobě skeletů nebo ochranných štítů kosmických družic, vesmírných sond a vesmírných stanic. V leteckém průmyslu se využívá při výrobě obzvláště namáhaných součástí vojenských a civilních letadel. Tento kov má vysokou pevnost, nízkou hustotu a vynikající odolnost proti korozi. Nejčastěji obráběná slitina titanu je Ti6Al-4V. Pro obrábění těchto materiálů se v maximální míře používá intenzivní chlazení středem nástroje a u operace frézování za použití monolitních nástrojů. Jsou to frézy s nestejnou roztečí zubů a s rozdílným stoupáním šroubovice (ve Frentechu se používá stoupání 42° a více).

Třetí nejčastěji používanou skupinou obráběných materiálů jsou korozivzdorné ocele (cca 5%). Z této skupiny materiálu se nejčastěji používají austenitické korozivzdorné oceli 1.4301 nebo 1.4404 (částečná odolnost proti korozi). U korozivzdorné oceli, u které se vyžaduje větší pevnost a vyšší odolnosti proti korozi, se jako přísada používá molybden. U výroby dílů pro Airbus se používají precipitačně korozivzdorné oceli jako je 15-5PH a 17-4PH.

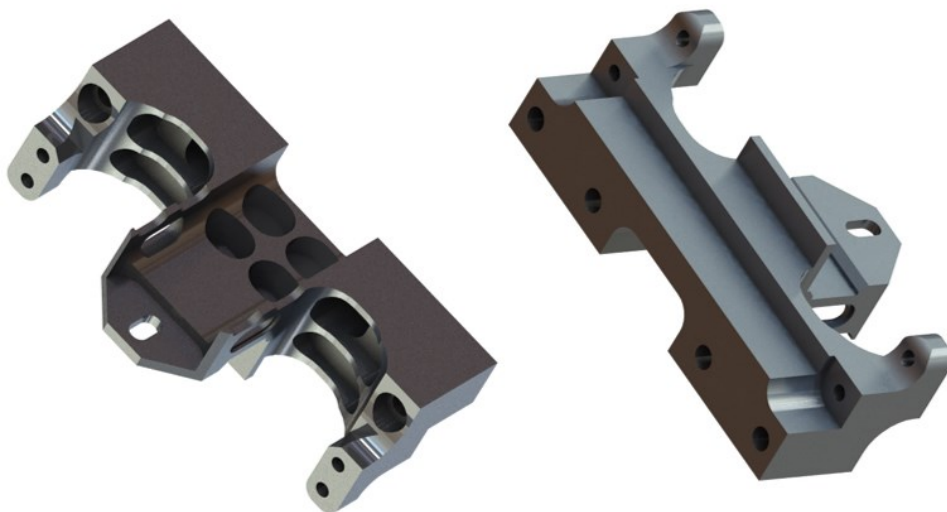
Z niklových slitin se nejvíce pracuje s materiály Inconel 718 a Monell 400. Tyto materiály se vyznačují vysokou houževnatostí a odolávají v rozsahu vysokých teplot. Tam kde hliník a ocel ztrácejí pevnost, Inconel nemění své vlastnosti. Tento materiál je obtížně

obrobitelný konvenčními metodami. Dodavatelé řezného nářadí z důvodu jeho obrábění vyvíjí speciální řeznou geometrii břitu. [42]

### 1.3 Zadaná součást

Součást je kvádrového tvaru o rozměrech  $59 \times 35 \times 18.5$  mm ( $\text{š} \times \text{h} \times \text{v}$ ) a je osově symetrická. Požadovaná drsnost obrobeného povrchu je Ra 3,2. Jejím středem prochází zaoblené vybrání, kterým je součást připevněna ke stojanu. Její přesnou polohu zajišťují tři aretační drážky po bocích. Kolmo k vybrání jsou čtyři drážky a čtyři otvory o průměru  $\varnothing 3$ , na které se přes kazetu upevňuje měřicí sonda. V rozích součástky jsou za stejným účelem umístěny čtyři průchozí otvory se závitem M2,5. Na rozteči 53 mm jsou v opačných rozích dva otvory o průměru  $\varnothing 3E9$ . Sražení vnějších a vnitřních hran je 0,2 mm viz poznámka nad razítkem výkresu. Smluvním dodatkem zákazník požaduje závity tvářet a vyrobít v toleranci 6H.

Součástka je používána v satelitních družicích. Jedná se vlastně o universální držák, na který se přes kazety zafixují různá zařízení. Po vyrobení a dodání je součást určena pro další montáž do sestavy. Ta se zřejmě provádí v mateřské firmě. Frézovací strategie byla vytvořena a optimalizována pomocí CAM softwaru a programu SolidCAM 2014. Model součásti můžeme vidět na obr. 1 – Izometrický pohled a výkres součásti je přiložen jako příloha A.



Obr. 1 - Izometrický pohled

## 1.4 Materiál součásti

V technické dokumentaci je jak na průvodce, v technologickém postupu tak i na výkrese definován jako výchozí materiál EN AW–6082 T651. Jedná se o slitinu hliníku s přísadami manganu, křemíku a dalších legujících prvků viz Tab. 3. Stav T651 znamená, že slitina je po rozpouštěcím žíhání s uvolněním vnitřního pnutí vypnutím řízenou velikostí (pro válcovanou nebo za studena dokončenou tyč je to  $1 \div 3\%$ ) a umělém stárnutí. Slitina je odolná proti korozi a má střední pevnost. Je nabízena v různých provedeních polotovaru – plechy, tyče, profily, trubky. V příložených tabulkách jsou uvedeny její základní mechanické vlastnosti a chemické složení.

Tab. 1 - Značení slitiny hliníku

Norma	EN	DIN	Číslo	ČSN
Označení	AW 6082	AlMgSi1	3.2315	42 440

Tab. 2 - Mechanické vlastnosti [6]

Mez pevnosti	Mez kluzu	Tažnost	Tvrdost	Odolnost korozi	Vhodná k eloxáži	Svařitelnost
$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	$A_5$ [%]	HBW 2,5/62,5	Zvláště mořská voda	Ano	Velmi dobrá
340	300	10	100			

Tab. 3 - Chemické složení slitiny hliníku [5]

Prvek	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Jiné
Jednotka	[%]							
Množství	0,7	0,5	0,1	0,4 ÷ 1,0	2,6 ÷ 1,2	0,25	0,2	0,3

Tento materiál se nejčastěji používá při konstrukčních a dekoračních účelech. V případě konstrukcí je důležité především určit kde je konstrukce středně namáhána, kde se klade důraz na chemickou stálost nebo kde se vyžadují leštěné plochy s dobrou odolností proti korozi. Pokud je potřeba tento materiál zpevnit, tak se většinou užívá tváření za studena nebo tepelné zpracování. Pro tváritelnost za tepla je optimální teplota kolem  $450 \div 500$  °C. Střední pevnost kluzu se pohybuje kolem 300 MPa a to při teplotách v rozmezí  $+50$  °C až  $-70$  °C. (V tom případě se jedná o kryogenní teploty.) Finální výrobky mohou mít různé tvary od tvarově složitých, tenkostěnných, dutých až po nýtované. Uvedený materiál se také využívá do letadel, automobilů, v potravinářském průmyslu, jsou z něho vyrobeny skříně železničních vagonů, rámy kamiónů, používá se při stavbě lodí, nádrží a mnoho dalšího. Tento materiál se také vyznačuje dobrou obrobiteľností. [7]

## 2. Rozbor problematiky a současný stav

V roce 2005 se firma Frentech zapojila do výběrového řízení na výrobu součásti *Nosník*. Zadavatel zakázky, přední telekomunikační firma s hlavní centrálou v Německu, zadala poptávku s několika položkami podobného charakteru k více výrobcům v zemích EU, kteří mají s podobnou výrobou zkušenosti. Oddělením technické přípravy výroby byla vypracovaná nabídka na výrobní dávky v počtu 10, 30, 50, 100 a 200 kusů. Po ukončení výběrového řízení byla výrobou součásti pověřena právě firma Frentech. Technická vybavenost a profesionální úroveň pracovníků české firmy na všech stupních výroby a řízení byla základem k opakujícím se objednávkám výroby této součásti, která se s drobnými změnami vyrábí dodnes. V oddělení marketingu, logistiky, přípravy výroby a plánování jsou vyškolení odborníci s vysokoškolským vzděláním. S postupem času se však ukázalo, že frézku H400N je nutné nahradit novým strojním zařízením.

### 2.1 Současný stav

Řezné i upínací nářadí na všechna pracoviště CNC strojů a podle náročnosti i u klasických obráběcích strojů se připravují ve skladu nářadí. Jeho součástí je zařízení ThermoGrip ISG3<sup>200</sup> WK, na kterém se upínají rotační nástroje z SK, HSS a PM za pomoci indukčního ohřevu do tepelných upínačů. Podle nástrojových listů (viz příloha C) je zkompletován upínač, ustaven a upevněn obráběcí nástroj a to nejenom podle druhu, ale i podle vyložení a případně podle orientace. Kompletace nástrojových sestav se provádí v montážním bloku. Kužely jsou před prvním použitím osazeny čipem a potom dynamicky vyváženy s ohledem na otáčky strojů. Měření (především délkových a průměrových korekcí), seřízení (měření obvodového házení břitů a měření nejvyššího břitu) a kontrola nástrojů se provádí na měřícím a seřizovacím přístroji ZOLLER VENTURION 450. Nastavené a naměřené hodnoty jsou prostřednictvím čipu ke každé nástrojové sestavě přiřazeny. Zkompletované sestavy jsou ke strojům dopraveny v lehkých plastových boxech – dodavatel firma Jaroslav Pokorný, Dačice. Obsluha obráběcího stroje pomocí čtečky načte tyto údaje, a doručené nářadí vloží do zásobníku stroje. Tímto se ušetří čas a eliminují se možné chyby vzniklé přepisováním údajů. Dílenská měřidla podléhající pravidelným kontrolám dostane obsluha rovněž k dispozici. Po ustavení upínacích přípravků, načtení programů z centrální databáze vytvořených programátory a po upnutí polotovaru je možné přistoupit k obrábění. Nástroje (vrtáky, navrtáváky, drážkovací frézy), vždy však bez povlaku, se přeastřují na ostříčce nástrojů SAACKE, která je ve výrobní hale firmy. U ostatních nepovlakovaných nástrojů (frézy, stupňovité vrtáky) se přeastření provádí ve firmě Carbide, s.r.o. v Měříně. U zbývajících nástrojů se složitou geometrií s povlakem se

tyto svážnou službou nebo poštou zasílají k dodavatelům náradí. Při opětovném přestřeni a povlakování je takto dána záruka plného využití nástrojů bez omezení, řezné podmínky proto nemusí být upravovány. Nové nebo i částečně použité a neopotřeбенé nástroje se skladují v regálovém zakladači řízeném PC.

Při první objednávce si výchozí materiál o rozměrech  $65 \times 25$  v tolerancích  $h11$  v délce 3000 mm zadavatel sám nakupoval a dopravoval jej do ČR. Později bylo domluveno, že si materiál AW-6082 ve stavu T651 bude i s certifikátem od materiálu, dle EN 10204-3.1.B, nakupovat Frentech samostatně. Nejčastěji je to prostřednictvím firmy Primapol-Metal-Spot, s. r. o.

První výrobní operací je **řezání tyčí**, kde se profil  $65 \times 25$  řeže na délku 52 mm a to na pásové pile Forte. Nařezané polotovary se v plastové bedně přepraví na následující pracoviště. Při první operaci se k zakázce přikládá technologický postup – výrobní příkaz (příloha B). Pracovníci, kteří jednotlivé operace vykonali, její správné provedení stvrdí svým podpisem a razítkem. Druhou výrobní operací je **frézování** (za úhlování polotovaru), kde se upravují rozměry materiálu na  $60 \times 23 \times 50$ , která je podrobněji popsána v kapitole 2.2. Třetí operací je **frézování**, kde se na tři polohy obrábí součástka na hotovo, viz kapitola 2.3. (Následující operace **zámečník**, **konečná kontrola**, **balení a doklady požadované pro dávku** jsou níže zmíněny pouze informativně, protože nejsou předmětem této diplomové práce)

Čtvrtou operací je **zámečník**, ve které se provádí celkové odjehlení. Pomocí speciální sady pilniček, vysokootáčkových pneumatických brusek NAKANISHI IMPULSE s otáčkami  $60.000 \text{ min}^{-1}$  a brusných tělísek se pod lupou sráží neodjehlené hrany. Následuje operace **konečná kontrola**. Kontrola prvního kusu a konečná kontrola se provádí na speciálně vybaveném pracovišti. Zde se díky výkonné klimatizaci udržuje konstantní teplota ( $20^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ ) a konstantní vlhkost. Toto pracoviště je vybaveno řadou jednoúčelových speciálních zařízení pro měření. Měřicí centra MITUTOYO 7106 a BHN 706 jsou souřadnicové měřicí přístroje s rozsahem měření  $700 \times 600 \times 450 \text{ mm}$ . Na měřicím projektoru MITUTOYO PJ300 se měří především úhly a profily. Pro měření drsnosti slouží drsnoměr ZEISS SURFCOM 130A, vybavený měřicí jednotkou, etalony drsnosti a stejně jako předchozí měřidla je vybaven granitovou deskou, PC s dotykovým LCD displejem. Posledním elektronickým měřidlem na tomto pracovišti je výškoměr LINEAR HEIGHT LH - 600E MITUTOYO. Pracoviště je také vybaveno řadou posuvných měřitek a mikrometrických třmenů ať už mechanických nebo s digitálním displejem, válcovými a závitovými kalibry. Na pracovišti je sada válcových kalibrů od  $\varnothing 3$  do  $\varnothing 10$  odstupňovaných po 0.01 mm. I poškrábání kusů, které jsou určeny pro letecký nebo



kosmický průmysl, je v této výrobě důvodem k reklamaci a vrácení dávky! Další nevýrobní operací je **balení**. Díly se bez konzervace vkládají jednotlivě do blistrů (plastový výlisek s průhledným víkem) vytěsněných papírovou nebo polystyrenovou drtí. Poslední nevýrobní operací jsou **doklady požadované pro výrobní dávku**. Zde je oddělením nákupu dodán certifikát od materiálu dle EN 10204-3.1.B (zajišťuje dodavatel materiálu) a je vypracován certifikát o shodě. Následuje expedice k zákazníkovi dle smluvených podmínek v podepsané smlouvě.

Pro porovnání stávající a nově navržené technologie je u každé polohy u jednotlivých operací proveden detailní rozbor. Ten bude kromě stručného popisu pro názornost obsahovat model použitého upínače součástky Nosník v aktuálním stavu rozpracovanosti. Dále budou v tabulkách přiloženy přehledy použitých řezných nástrojů, řezné podmínky a jednotkové strojní časy.

Pojmem jednotkový strojní čas (dále jen  $t_{AS}$ ) se rozumí čas automatického chodu obráběcího stroje, při obrobení dané součásti vztažený na jeden řezný nástroj. Nezohledňují v něm najetí nástroje na pracovní souřadnice součástky (rychloupisy u všech uvedených strojů jsou minimálně  $30 \text{ m} \times \text{min}^{-1}$ ) a není v něm zahrnut čas na výměnu nástroje (minimální rozdíl). Hodnoty jednotkových strojních časů pro jednotlivé nástroje byly získány ze simulace pohybů nástrojů na pracovišti programátorů a ze seřizovacích listů (příloha C). Ze stejného zdroje byly získány dráhy nástrojů absolvované pracovním posuvem (dále jen  $L$ ), délku náběhu (dále jen  $l_n$ ), délku opracované plochy (dále jen  $l$ ) a délku přeběhu (dále jen  $l_p$ ). Obecně platí následující vztahy:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} [\text{min}] \quad (61.1)$$

kde:  $t_{AS} [\text{min}]$  ... jednotkový strojní čas  
 $L [\text{mm}]$  ... dráha nástroje ve směru posuvu  
 $v_f [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$  ... posuvová rychlost

a dále platí:

$$L = l_n + l + l_p [\text{mm}]$$

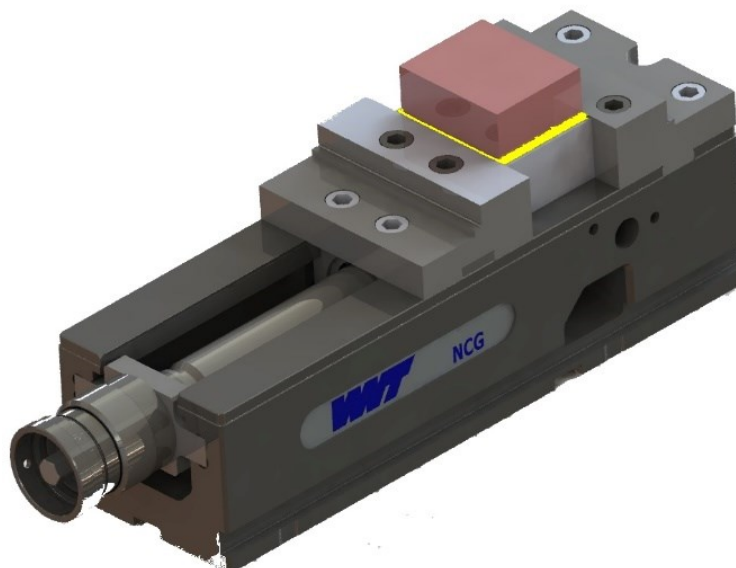
kde:  $l_n [\text{mm}]$  - délka náběhu,  $l [\text{mm}]$  - délka opracované plochy,  $l_p [\text{mm}]$  - délka přeběhu.

## 2.2 Původní technologie (příprava polotovaru)

Ve druhé výrobní operaci se na dvě polohy provádí výrobní úkon frézování. Zde jsou pomocí 2. nástrojů, na vertikální CNC frézce FJV20 upraveny rozměry z původních

65 x 25 x 52 na 60 x 23 x 50, každý rozměr v toleranci 0/-0.2. U obou největších protilehlých ploch definovaných rozměry 60 x 50 je požadována poloha rovnoběžnosti čel do  $\pm 0.05\text{mm}$ . Stroj je vybaven upínacím kuželem SK40 podle ISO 69871 bez vnitřního chlazení, jeho výrobcem je japonská firma Mazak. Jedná se o jeden z prvních obráběcích strojů zakoupených firmou Frentech. Polotovár se upíná do jednoho ze zakoupených svěráků od firmy WNT Česká republika, s. r. o. (dále jen WNT) typ NCG.100.89-245-30KN. [8] Do správné polohy se dostane za pomoci stavitelného dorazu a broušených podložek, které jsou součástí pracoviště.

**I. poloha** v universálním svěráku se na jedno upnutí zarovnává největší plocha a přilehlé strany do hloubky 23.5. Pro názornost je na obrázku vymodelováno upnutí součástí s jejími upravenými rozměry (Obr. 2).



Obr. 2 - Svěrák NCG.100.89-245-30KN s opracovaným polotovarem (I. poloha)

Tab. 4 - Použité řezné nástroje (I. poloha příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce	Odkaz
T1	Fréza $\varnothing 50$	A490.50.R.05-12	5	SDHT 120508FR-27P H216T	Ceratizit	[9], [10]
T20	Fréza $\varnothing 20$	52 115 200	8	SK	WNT	[11]

Tab. 5 - Řezné podmínky (I. poloha příprava polotovaru)

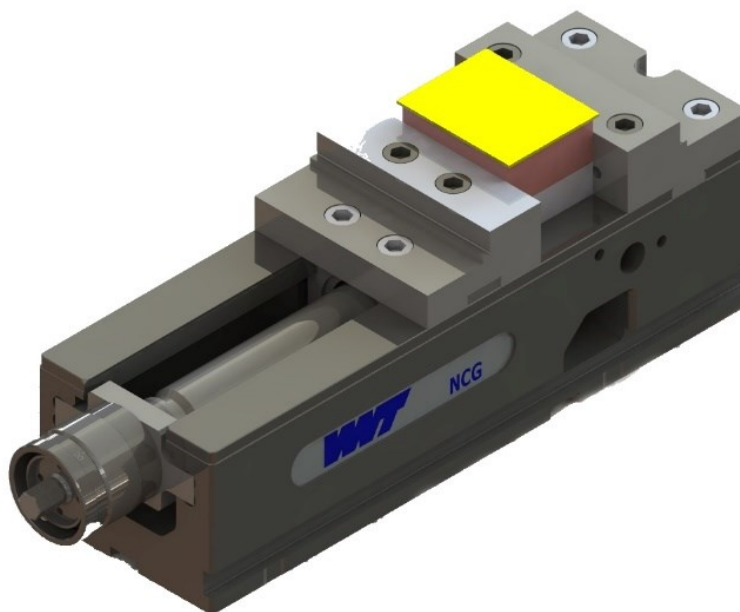
Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c$ [m $\times$ min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$v_f$ [mm $\times$ min <sup>-1</sup> ]	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [%]	$a_e$ [mm]
T1	50	5	251	0,05	400	1600	1	70	35
T20	20	8	126	0,1	1600	2000	12	0.1	2

Tab. 6 - Jednotkový strojní čas (I. poloha příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Nástroj	Úkon	tas [min]
T1	Fréza ø 50	Obrábění základní roviny 65 x 52 $L = 2 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 2 \cdot (27 + 52 + 27) = 212$ [mm]	0.53
T20	Fréza ø 20	Obrábění boků polotovaru na dvě hloubky na rozměr 60 x 50 $L = 2 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 2 \cdot (8 + 220 + 3) = 462$ [mm]	0.29

Celkový jednotkový strojní čas pro I. polohu je  $t_{ASPPi} = \sum t_{AS}$   
 $t_{ASPPi} = 0.82$  min

**II. poloha** po vyrovnaní a upnutí kusu ve stejném svěráku se frézovací hlavou s VBD přerovná protilehlé čelo na míru 23 mm. U protilehlých ploch definovaných rozměry 60 x 50 je požadována poloha rovnoběžnosti čel do  $\pm 0.05$  mm. (Obr. 3) Tímto způsobem dojde k přípravě polotovaru pro následující operaci. Po vyjmutí kusu se sražení hran pro upnutí v následující operaci provede ručně v překrytém čase plochým pilníkem s násadou.



Obr. 3 - Svěrák NCG.100.89-245-30KN s upnutým polotovarem před obráběním (II. poloha)

Tab. 7 - Použité řezné nástroje (II. poloha příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce
T1	Fréza ø 50	A490.50.R.05-12	5	SDHT 120508FR-27P H216T	Ceratizit

Tab. 8 - Řezné podmínky (II. poloha příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c [m \times min^{-1}]$	$f_z [mm]$	$V_f [mm \times min^{-1}]$	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p [mm]$	$a_e [%]$	$a_e [mm]$
T1	50	5	251	0,05	400	1600	1	70	35

Tab. 9 - Jednotkový strojní čas (II. poloha příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Nástroj	úkon	tas [min]
T1	Fréza ø 50	Obrábění základní roviny 65 x 52 $L = 2 \cdot (l_n + l + l_p) = 2 \cdot (27 + 50 + 27) = 208 [mm]$	0.52

Celkový jednotkový strojní čas pro II. polohu je  $t_{ASPPH} = \sum t_{AS}$

$$t_{ASPPH} = 0.52 \text{ min}$$

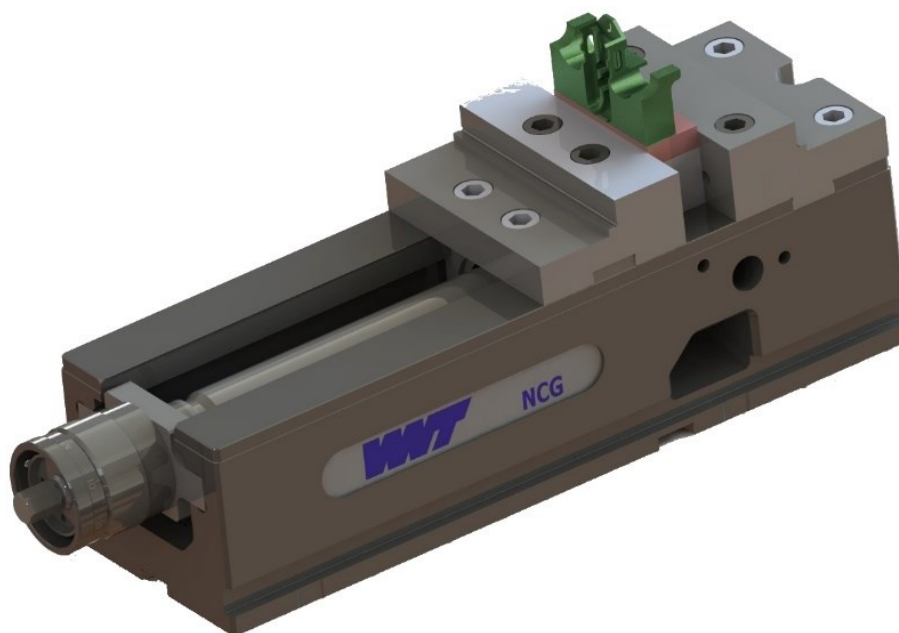
Celkový jednotkový strojní čas přípravy polotovaru:  $t_{ASPP} = t_{ASPPH} + t_{ASPPH}$

$$t_{ASPP} = 1,34 \text{ min}$$

### 2.3 Původní technologie (výroba součástí)

Ve třetí výrobní operaci se ve třech polohách pomocí 20. nástrojů provádí finální opracování součástky při úkonech frézování, vrtání a tváření závitů. Používané nástroje jsou popsány v nástrojovém listu, který dostane obsluha stroje v okamžiku přípravy nové práce spolu s aktualizovaným programem. Ten se upravuje především na základě změn ve výkresové dokumentaci (změna indexu výkresu) a změn na modelu. Obrábění se provádí na čtyřosé frézce Mazak H400N s CNC řízením vybavené systémem dvou palet. Na každou paletu stroje je přes nastavovací kameny upevněn svěrák NCG.100.89-245-30KN

**I. poloha** součástka je ve svěráku ustavena svisle, drážkou  $2.6 \pm 0.1 \times 2.5$  nahoru. Použité řezné nástroje a řezné podmínky obrábění jsou uvedeny v tabulce 10 a 11. Uvedené řezné nástroje byly nasazeny na základě zkoušek obrábění obdobných součástí ze stejného materiálu. V tabulce 12 jsou vypsány jednotkové strojní časy. Upnutí je vymodelováno na přiloženém (Obr. 4).



Obr. 4 - Svěrák NCG.100.89-245-30KN se svisle upnutým polotovarem (I. poloha)

Tab. 10 - Použité řezné nástroje (I. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce	Odkaz
T1	Fréza ø 50	A490.50.R.05-12	5	SDHT120508FR- 27P H216T	Ceratizit	[9] [10]
T2	Fréza ø 10 Hr	490VL100R100Z2. 0A-MEGA-T	2	SK	SECO	[12]
T3	Fréza ø 8	52 115 080	6	SK	WNT	[13]
T4	Vrták ø 5.7	10106057	2	HSS	WNT	[14]
T5	Fréza ø 10 R 2.5	440100-MEGA-T	2	SK	SECO	[15]
T6	Fréza ø 5 R1	421050R100Z2- MEGA-T	2	SK	SECO	[16]
T7	Fréza ø 5	50144050	2	PM	WNT	[17]
T8	Fréza ø 2	50144020	2	PM	WNT	[18]
T9	Fréza ø 2.5	50144025	2	PM	WNT	[19]
T10	Fréza ø 6	52 115 060	6	SK	WNT	[20]
T11	Odhrotač NC ø 6 x 45°	52158060	4	SK	WNT	[21]
T12	Odhrotač NC ø 4 x 45°	52158040	4	SK	WNT	[22]

Tab. 11 - Řezné podmínky (I. poloha)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c [m \times min^{-1}]$	$f_z [mm]$	$v_f [mm \times min^{-1}]$	n [ $min^{-1}$ ]	$a_p [mm]$	$a_e [\%]$	$a_e [m]$
T1	50	5	251	0.05	400	1600	0.5 a 2,5	80	40
T2	10	2	250	0.03	480	8000	18.5	100	10
T3	8	6	221	0.01	530	8800	0.2	100	10
T4	5.7	2	50	$f_n = 0,18$	504	2800			
T5	10	2	250	0,03	500	8000	1.3	100	10
T6	5	2	157	0.03	600	10000	0.6	10	1
T7	5	2	100	0.02	255	6370	1.2	100	5
T8	2	2	63	0.02	400	10000	1	100	2
T9	2.5	2	79	0.02	400	10000	1	100	2.5
T10	6	6	173	0.01	550	9200	6	20	1.2
T11	6	4	130	0.01	275	6900	1	17	1
T12	4	4	126	0.01	500	10000	0.2	5	0,2

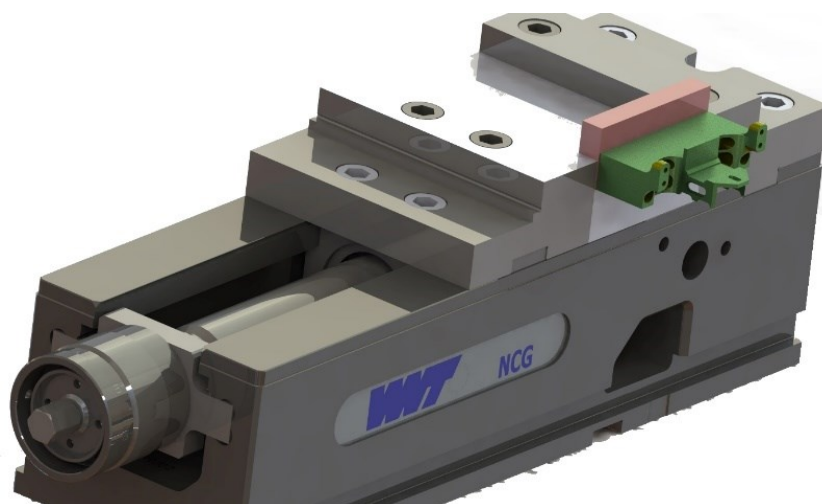
Tab. 12 - Jednotkový strojní čas (I. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	úkon	čas [min]
T1	Fréza $\varnothing 50$	Obrábění vnějšího tvaru na rozměry 59 x 18.5 do hloubky 40 na hotovo $L = 2 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 2 \cdot (27 + 23 + 27) = 154 [mm]$ $L = 2 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 2 \cdot (27 + 59 + 27) = 226 [mm]$	0.95
T2	Fréza $\varnothing 10$	Hrubovat horní tvar s R5 a R7 $L = 2 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 2 \cdot (7 + 212 + 3) = 444 [mm]$ B+180° - Hrubovat zadní stranu $L = l_n + 1 + l_p = 7 + 200 + 7 = 214 [mm]$	0.93
T3	Fréza $\varnothing 8$	Frézovat na hotovo horní tvar s R5 a R7 $L = l_n + 1 + l_p = 7 + 115 + 3 = 125 [mm]$ B+180° - Frézovat na hotovo zadní stranu $L = l_n + 1 + l_p = 7 + 200 + 7 = 214 [mm]$ B+90° a B-90° - Hotově R10 $L = 2 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 2 \cdot (6 + 20 + 2) = 56 [mm]$	0.75
T4	Vrták $\varnothing 5.7$	Předvrtat drážku 6.6 x 7 s R3 – 4x $L = 4 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 4 \cdot (2 + 9 + 0) = 44 [mm]$	0.09
T5	Fréza $\varnothing 10$ R 2.5	Hrubovat vybrání 16 x 34.8 do hl. 6.4 – 5x $L = 5 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 5 \cdot (7 + 76 + 7) = 450 [mm]$	0.90
T6	Fréza $\varnothing 5$ R 1	Hrubovat vybrání 16 x 34.8 do hl. 6.4 – 11x $L = 11 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 11 \cdot (5 + 76 + 5) = 946 [mm]$	1.58
T7	Fréza $\varnothing 5$	Frézovat na hotovo drážku 6.6 x 7 s R3 – 4x $L = 4 \cdot (l_n + 1 + l_p) = 4 \cdot (2 + 81 + 0) = 332 [mm]$ Frézovat na hot. vybrání pod drážku 2.6 x 5.1 $L = l_n + 1 + l_p = 5 + 40 + 5 = 50 [mm]$	2.05

		B+180° - Hotově 7.2 x 18 do hl. 1.5 s 1 x 45° - 5x $L = 5 \cdot (l_n + l + l_p) = 5 \cdot (5 + 18 + 5) = 140$ [mm]	
T8	Fréza ø 2	Frézovat na hotovo drážku 2.6 x 5 na dvě hl. $L = 2 \cdot (l_n + l + l_p) = 2 \cdot (3 + 16 + 2) = 42$ [mm]	0.11
T9	Fréza ø 2.5	Frézovat na hotovo drážky 3 x 8 do hl. 3 – 2x $L = 6 \cdot (l_n + l + l_p) = 6 \cdot (3 + 25 + 2) = 180$ [mm] Frézovat osazení drážky na 4 x 9 do hl. 0.5 - 2x $L = 2 \cdot (l_n + l + l_p) = 2 \cdot (3 + 30 + 2) = 70$ [mm] B+90° a B-90° drážku 5.6 s R1.5 – 4x $L = 8 \cdot (l_n + l + l_p) = 8 \cdot (4 + 9 + 4) = 136$ [mm]	0.97
T10	Fréza ø 6	B+90° a B-90° vnější tvar s R3 a R1.5 – 2x. $L = 2 \cdot (l_n + l + l_p) = 2 \cdot (5 + 25 + 5) = 70$ [mm]	0.13
T11	Odhrotač NC ø 6 x 45°	B+180° - Hotově sražení 1 x 45° v délce 18 - 4x $L = 4 \cdot (l_n + l + l_p) = 4 \cdot (4 + 18 + 4) = 104$ [mm]	0.38
T12	Odhrotač NC ø 4 x 45°	Hotově sražení 0.2 x 45° $L = l_n + l + l_p = 6 + 140 + 6 = 152$ [mm]	0.30

Celkový jednotkový strojní čas pro I. polohu je  $t_{ASVSI} = \sum t_{AS}$   
 $t_{ASVSI} = 9.14$  min

**II. poloha** součástka je ve svěráku ustavena horizontálně, drážkou  $2.6 \pm 0.1 \times 2.5$  směrem do pracovního prostoru stroje. Použité řezné nástroje a řezné podmínky obrábění jsou uvedeny v tabulce 13 a 14. V tabulce 15 jsou vypsány jednotkové strojní časy. Upnutí je vymodelováno na příloženém (Obr. 5).



Obr. 5 - Svěrák NCG.100.89-245-30KN s rozpracovaným obrobkem do pracovního prostoru (II. poloha)

Tab. 13 - Použité řezné nástroje (II. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce	Odkaz
T13	Fréza $\varnothing 4$	50144040	2	PM	WNT	[23]
T10	Fréza $\varnothing 6$	52 115 060	6	SK	WNT	[24]
T14	NC navrtávák $\varnothing 4$	10520040	2	HSS	WNT	[25]
T15	Vrták $\varnothing 2.3$	10106023	2	HSS	WNT	[26]
T16	Vrták $\varnothing 2.8$	10106028	2	HSS	WNT	[27]
T17	Vrták $\varnothing 3$	1016103000	2	HSS	WNT	[28]
T18	Závitník M2.5	B0911300.0025	1	HSS	EMUGE	[29]
T19	Výstružník $\varnothing 3.02H4$	4011503020	6	HSS	WNT	[30]
T12	Odhrotovač NC $\varnothing 4 \times 45^\circ$	52158040	4	SK	WNT	[22]

Na výkrese jsou předepsány dva vystružované otvory o rozměru  $\varnothing 3$  E9. Vzhledem k tomu, že se požadovaný rozměr nástroje vyrábí pouze jako speciální náradí na objednávku (finančně nákladné) je požadovaný výstružník nahrazen výstružníkem  $\varnothing 3.02H4$  ze sortimentu WNT viz nástroj T19 v tabulkách.

Tab. 14 - Řezné podmínky (II. poloha)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c [m \times min^{-1}]$	$f_z, f_n [mm \times z^{-1}]$ $[mm \times ot^{-1}]$	$v_f [mm \times min^{-1}]$	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [%]	$a_e$ [mm]
T13	4	2	100	0,02	320	7960	2	100	4
T10	6	6	173	0.01	550	9200	6	20	1.2
T14	4	2	50	$f_n = 0,16$	640	3980			
T15	2.3	2	50	$f_n = 0,10$	690	6920			
T16	2.8	2	50	$f_n = 0,12$	690	5690			
T17	3	2	50	$f_n = 0,13$	690	5310			
T18	2.5	1	25	$f_n = 0,45$		3185			
T19	3	6	20	$f_n = 0,12$	255	2120			
T12	4	4	126	0.01	500	10000	0,2	5	0.2



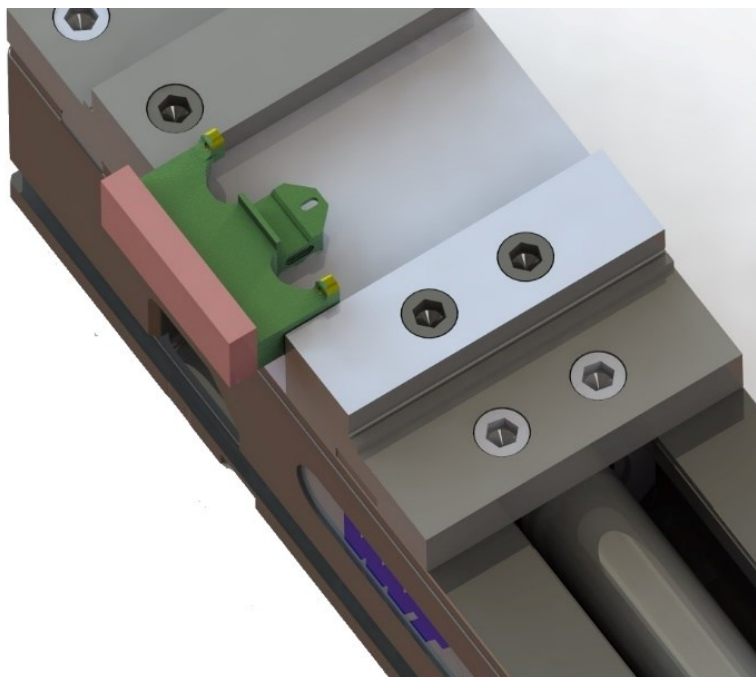
Tab. 15 - Jednotkový strojní čas (II. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	úkon	tas [min]
T13	Fréza $\varnothing 4$	Frézovat na hotovo drážku 12 x 4.5 – 2x $L=6 \cdot (ln+ l+lp)=6 \cdot (2+48+2)=312$ [mm] Fréz. hotově drážku 12 x 6 s vybráním 6 x 6 - 2x $L=8 \cdot (ln+ l+lp)=8 \cdot (2+52+2)=448$ [mm]	2.38
T10	Fréza $\varnothing 6$	Frézovat na hotovo sražení 45° - 2x $L = 2 \cdot (ln+ l+lp) = 2 \cdot (5+8+5) = 36$ [mm]	0.07
T14	NC navrtávák $\varnothing 4$	Navrtat $\varnothing 3E9$ - 2x, $\varnothing 3$ - 2x a M2.5 - 4x $L = 8 \cdot (ln+ l+lp) = 8 \cdot (2+2+2) = 48$ [mm]	0.08
T15	Vrták $\varnothing 2,3$	Předvrtat otvor pro M2.5 – 4x $L=4 \cdot (ln+ l+lp)=4 \cdot (2+8+0)=40$ [mm]	0.06
T16	Vrták $\varnothing 2.8$	Předvrtat otvor pro $\varnothing 3E9$ – 2x $L=2 \cdot (ln+ l+lp)=2 \cdot (2+15+0)=34$ [mm]	0.05
T17	Vrták $\varnothing 3$	Vrtat otvor $\varnothing 3$ – 2x $L=2 \cdot (ln+ l+lp)=2 \cdot (2+5+0)=14$ [mm]	0.02
T18	Závitník M2.5	Tvářet závit M2.5 - 6H – 4x $L=4 \cdot (ln+ l+lp)=4 \cdot (2+8+8)=72$ [mm]	0.05
T19	Výstružník $\varnothing 3.02H4$	Vystružit otvor $\varnothing 3E9$ – 2x $L=2 \cdot (ln+ l+lp)=2 \cdot (2+15+15)=64$ [mm]	0.25
T12	Odhrotovač NC $\varnothing 4x45^\circ$	Odjehlení kontury $L = ln+ l+lp=6+94+6=106$ [mm]	0.21

Celkový jednotkový strojní čas pro II.polohu je  $t_{ASVSII} = \sum t_{AS}$

$$t_{ASVSII} = 3,17 \text{ min}$$

**III. poloha** součástka je ve svěráku ustavena horizontálně, tentokrát základnou směrem do pracovního prostoru stroje. Použité řezné nástroje a řezné podmínky obrábění jsou uvedeny v tabulce 16 a 17. V tabulce 18 jsou vypsány jednotkové strojní časy. Upnutí je vymodelováno na přiloženém (Obr. 6).



Obr. 6 - Upnutí obrobku před obráběním (III. poloha)

Tab. 16 - Použité řezné nástroje (III. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátka	Výrobce
T1	Fréza ø 50	A490.50.R.05-12	5	SDHT120508FR-27P H216T	Ceratizit
T20	Fréza ø 20	52 115 200	8	SK	WNT
T10	Fréza ø 6	52 115 060	6	SK	WNT
T12	Odhrotač NC ø 4 x 45°	52158040	4	SK	WNT

Tab. 17 - Řezné podmínky (III. poloha)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c [m \times min^{-1}]$	$f_z [mm]$	$v_f [mm \times min^{-1}]$	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p [mm]$	$a_e [%]$	$a_e [mm]$
T1	50	5	251	0,05	400	1600	2,2	46	23
T20	20	8	126	0,05	800	2000	7.6	0.15	3
T10	6	6	173	0.01	550	9200	8.6	25	1.5
T12	4	4	126	0.01	500	10000	0,2	5	0,2

Tab. 18 - Jednotkový strojní čas (III. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	úkon	tas [min]
T1	Fréza ø 50	Obrábění základny na celkovou výšku 34,8 hotově (původní rozměr 48) $L = 6 \cdot (l_n + l + l_p) = 6 \cdot (27 + 59 + 27) = 678 \text{ [mm]}$	1.70
T20	Fréza ø 20	Frézovat hotově oplošení 7.6 x 59 do hl. 3 mm $L = (l_n + l + l_p) = (8 + 59 + 8) = 75 \text{ [mm]}$	0.10
T10	Fréza ø 6	Fréz. hotově vybrání s R 3.75 do hl. 8.6 - 2x $L = 6 \cdot (l_n + l + l_p) = 6 \cdot (4 + 11 + 4) = 114 \text{ [mm]}$	0.21
T12	Odhrotovač NC ø 4x45°	Odjehlení kontury $L = l_n + l + l_p = 6 + 180 + 6 = 192 \text{ [mm]}$	0.38

Celkový jednotkový strojní čas pro III. polohu je  $t_{ASVSIII} = \sum t_{AS}$

$$t_{ASVSIII} = 2,39 \text{ min}$$

Celkový jednotkový strojní čas:

$$t_{ASVS} = t_{ASVSI} + t_{ASVSII} + t_{ASVSIII}$$

$$t_{ASVS} = 14,7 \text{ min}$$

Poznámkou nad razítkem výrobního výkresu je mimo jiného definován konstrukční požadavek na sražení vnitřních hran 0,2 mm podle DIN 13715. Rohové rádiusy monolitních fréz jsou z toho důvodu ještě před obráběním upraveny na pětiosé ostříčce nástrojů SAACKE, která je ve výrobní hale firmy umístěna v těsné blízkosti výdejny nářadí. Sražení vnějších hran 0,2 mm podle stejné normy se v maximální možné míře provádí strojně vzhledem k jejich dostupnosti, za pomoci odhrotovače NC ø 4x45° viz nástroj T12.

### 3. Návrh optimalizačních řešení

Diplomová práce se v této části bude zabývat optimalizací (vylepšením) současného stavu výroby dané součástky. Nad tímto tématem se zamyslíme z pohledu řezných nástrojů, použitých upínačů nástrojů, upnutí obrobku a obráběcího stroje. Na konci každé z uvedených oblastí bude shrnutí problematiky a doporučeno řešení, které se zohlední při návrhu nové technologie.

#### 3.1 Řezné nástroje

Efektivita obrábění a trvanlivost nástroje závisí z velké části na vlastnostech břitu nástroje. Od materiálu břitu se požaduje:

- Vysoká pevnost a tvrdost při pracovních teplotách, která zamezí deformacím
- Vysoká houževnatost, která zamezí porušení celistvosti břitu
- Odolnost při teplotních rozdílech
- Chemickou stálost, zaručující odolnost proti difuzi a oxidaci
- Snadnou zpracovatelnost a přijatelnou cenu

Ve Frentechu jsou při výrobě součástí používány nástroje z HSS, PM a nebo SK.

Rychlořezné oceli – **HSS** (High speed steel) se používají především pro svou houževnatost, to znamená v případech, kdy se při obrábění může vyskytovat chvění. Je zpracována za použití běžných technologií (odléváním, kování, třískovým obráběním) a je cenově nejdostupnější. Její nevýhodou je menší tvrdost a odolnost proti opotřebení, a to hlavně při teplotách nad 500°C. Tento materiál je ve starých normách označován jako 19 8XX, například wolframová HSS 19802. Při její výrobě se používá vysoký obsah legujících prvků, které svými vlastnostmi nebo vzájemným působením materiálu dodávají:

Wolfram (W) V množství 6 ÷ 18% je základní legující prvek. Vytváří tvrdé, proti opotřebení odolné karbidy a pevný, proti popouštění stálý martenzit.

Molybden (Mo) V množství 0.7 ÷ 10% podobné vlastnosti jako wolfram. Lze s ním dosáhnout vyšší houževnatosti. Je však citlivý na dodržování podmínek tepelného zpracování.

Vanad (V) V množství 1.3 ÷ 4.3% vytváří nejtvrdsí karbidy a tím zvyšuje odolnost proti opotřebení. Při jeho použití však výrazně klesá houževnatost.

Kobalt (Co) V množství 5 ÷ 12% zvyšuje odolnost oceli proti poklesu tvrdosti při vysokých teplotách.

Chrom (Cr) V množství cca 4% umožňuje dosáhnout dostatečné kalitelnosti oceli.

Vysoký obsah legujících prvků způsobuje kromě vysoké tvrdosti ( $60 \div 68$  HRC), zvýšení popouštěcí teploty (tedy praktické využitelnosti vyrobeného nástroje) do oblasti teplot mezi  $500 \div 600$  °C. [60, 63, 69]

Pro výrobu nejvyšších rychlořezných ocelí se používá prášková metalurgie – **PM** (Powder metallurgy). Používají se dva základní způsoby výroby. V prvním se prášek oceli vyrobený rozprašováním tekuté oceli do plynného prostředí nebo do vody dále zpracovává izostatickým lisováním při vysoké teplotě do polotovaru a následuje další zpracování za tepla (kováním nebo válcováním). Druhým způsobem je lisování za studena s následným spékáním. Následuje konečné broušení (výroba VBD a jednoduchých nástrojů). Výhodou práškové metalurgie je, že přináší do výroby rychlořezných ocelí jemnější zrna s rovnoměrnější homogenní strukturou. Proto mají PM proti HSS zvýšenou houževnatost, lepší obrobiteľnosť a vyšší trvanlivost řezné hrany. Materiály PM i HSS jsou kvalitními základními materiály pro nanesení povlaků TiN, TiC a nebo TiCN. Nejrozšířenějším používaným materiálem nástrojů ve Frentechu jsou slinuté karbidy – **SK**. Jsou to tuhé roztoky karbidů kovů (především WC a TiC) v pojivu, tvořeném většinou kobaltem (Co). Typickou vlastností slinutých karbidů je vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení za teplot až 900 °C a vysoká pevnost v tlaku. Nedostatkem ve srovnání s HSS a PM je nižší houževnatost a malá tepelná vodivost. [60, 63, 69]

Vlastnosti SK jsou podobné jako u HSS závislé na jejich chemickém složení, a to:

Karbid wolframu (WC) – Je základní složkou standardních karbidů. Zároveň pomáhá zvyšovat odolnost proti abrasivnímu opotřebení a pevnost břitu nástroje.

Karbid titanu (TiC) – Zvyšuje odolnost proti vymílání čela, zmenšuje odolnost proti otěru, zmenšuje houževnatost, zmenšuje pevnost v ohybu a tím pevnost břitu

Karbid tantalu (TaC) - Ve spojení s WC zvyšuje odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách. Zvyšuje houževnatost a mechanickou pevnost břitu a odolnost proti tepelným šokům.

Kysličník uhelnatý (CO) – Má za úkol plnit funkci spojovací fáze karbidu. Se zvyšujícím se obsahem se zvyšuje houževnatost a pevnost v ohybu. Nevýhodou je klesající tvrdost.[60]

Výroba SK je značně složitý proces obsahující řadu vysoce speciálních technologií. Prvním krokem je výroba a příprava prášků. Z nerostných surovin se redukcí získává čistý wolframový prášek, který se následně vysokoteplotně nauhličuje – vzniká karbid wolframu. Následuje přesné smíchání s dalšími karbidy zhotovenými podobným způsobem a s práškovým kobaltem. Dalším krokem je mletí v kulových mlýnech za mokra s následným sušením. Proces pokračuje lisováním a úpravou polotovarů. Směs prášků se dále zpracovává do požadovaného tvaru vysokotlakým oboustranným nebo izostatickým

lisováním do forem. Jinou metodou zpracování prášků je vytlačování a ve speciálních případech musí být použito dokončovací obrábění. Dalším krokem je slinování. K ohřívání výlisku se používá slinovací pec, která má ochranou vodíkovou atmosféru nebo vakuum. Teplota se pohybuje kolem 1400 °C, aby se pojivo dobře propojilo s karbidy. Důsledkem je vytváření tvrdé struktury. Poslední výrobní operací je dokončování výlisků. Z důvodů ztráty rozměrů při slinování je někdy zapotřebí výrobky zpřesnit následným broušením a odstranit otřepty. Důležitým faktorem stopkových fréz je jejich průřez. Maximální odvod třísek z místa řezu díky zvětšenému profilu drážky umožňují dvoubřité frézy. Stopkové čtyřbřité frézy se však svým průřezem více blíží realizovanému výpočtu teoretického modelu válcového nosníku. Znalost tuhosti nástrojů je důležitá pro dodržení požadované přesnosti obráběné plochy, konečné drsnosti opracované plochy a potlačení chvění při obrábění. Nevhodné nasazení nástroje z HSS se může projevit až o 30% větším průhybem vzhledem k nástroji z SK a způsobit odchylku od požadovaného tvaru. [62]

**Shrnutí:** Používané řezné nástroje na hliník a jeho slitiny se z důvodu malých dávek a snadného přestřžení používají bez PÚ. Z důvodu velkého vyložení nástrojů (nevhodné upnutí obrobku především v I. poloze Obr. 4) a nízkých řezných rychlostí jsou používány nástroje z PM a HSS. Při odebrání zbytkového materiálu pracuje frézovací hlava A490.50.R.05-12 na šest hloubek (doporučené  $a_p 0.2 \div 2.5$  mm).

**Doporučení:** Nahradit nástroje z PM a HSS nástroji z SK, zbytek materiálu odříznout SK pilkou. Konečný povrch zarovnat frézou  $\varnothing 20$  s ohledem na míru 34.8.

### 3.2 Držáky nástrojů

Pro přesné obrábění je nutné věnovat pozornost nejenom nástroji, ale i jeho držáku. Minimalizované obvodové házení má obzvlášť pozitivní vliv na výsledky obrábění, stejně jako i na životnost nástroje a vřetene stroje. Vysoké otáčky moderních obráběcích strojů proto vyžadují kvalitně vyrobenou a vyváženou celou sestavu – nástroj + držák. Už nedostatečně dynamicky vyvážený držák se v procesu obrábění projevuje velmi negativně. Nevyvážení vzniká při rotaci díky nestejnému rozložení hmotnosti. Vytváří odstředivou sílu, která vede k nepříznivému chvění. Při vysokorychlostním obrábění, stejně jako u nástrojů s velkým vyložení, je negativní působení nevyvážení na držáku a na nástroji obzvláště patrné. Způsobuje rýhy na povrchu obráběné plochy, které se musí odstraňovat dalším dokončovacím obráběním. Pro zajištění spolehlivosti procesu a požadovaných výsledků obrábění je nutné vibrace, co nejvíce omezit. Jednou z možností, jak toho dosáhnout, je snížit otáčky, posuv a řeznou hloubku. To sice vede ke zklidnění chodu, ale také ke snížení objemu odebraných třísek a tedy ke zhoršení produktivity. Další možností

je správná volba držáku, protože každé z níže uvedených konstrukčních řešení má své klady a zápory.

Upínače s trnem – čelní a kotoučové frézy se středí na trn, krouticí moment se přenáší perem na trnu nebo dvěma kameny na tělese upínače. Průměr trnu je  $\varnothing 16$ ,  $\varnothing 22$ ,  $\varnothing 27$ ,  $\varnothing 32$  a  $\varnothing 40$  mm. Nevýhodou pevného trnu je, že nezaručuje ideální vystředění tělesa frézy vůči ose rotace. To ovlivňuje rozdílný posuv na zub a nerovnoměrné opotřebení VBD. Proto se v případech požadovaných vysokých otáček nástroje používá trn, který umožňuje průměr trnu mechanicky nebo hydraulicky korigovat. Řezná kapalina se přivádí středem upínače.

Upínače s přírubou – tělesa fréz pro rovinné frézování o průměru  $\varnothing 315$  a větší se středí na přírubu a k tělesu upínače se upevňují čtyřmi šrouby. Krouticí moment se přenáší dvojicí kamenů. Vzhledem k velké hmotnosti sestavy se tato často ukládá mimo zásobník nástrojů do pickapu. Procesní kapalina se přivádí přírubou.

Upínače typu Weldon - upíná nástroje pomocí stopky, která svým průměrem musí odpovídat dutině v upínači. Upínače typu Weldon podle DIN 6535 požadují upravenou stopku nástroje. Krouticí moment se přenáší pomocí šroubu, který dosedá kolmo na plochu oplošení vyfrézované na stopce nástroje rovnoběžně s osou. Výhodou je jednoduchost a nízká cena. Nevýhodou je nutnost nasadit pro každý průměr stopky nástroje jiný upínač. Dalším negativem je vysoká házivost upnutého nástroje ( $15 \div 20 \mu\text{m}$ ). Důvodem je samotný princip upnutí – nástroj je odtlačován upínacím šroubem mimo osu rotace. Další nevýhodou je náchylnost k vibracím, protože pevné upnutí je až v místě kontaktu upínacího šroubu se stopkou nástroje, tedy daleko od čela upínače.

Upínače typu Whistle Notch – využívají stejný princip jako upínač typu Weldon, včetně všech výhod a nedostatků. Tvar stopky nástroje je určen normou DIN 6535 HE. Vyfrézované oplošení stejně jako sklon upínacího šroubu má sklon  $2^\circ$ .

Kleštinové upínače – se vyznačují obdobnou nebo nepatrně lepší házivostí jako upínače typu Weldon nebo typu Whistle Notch. Přesnou výrobou a odlišnou konstrukcí lze docílit přesnosti a házivosti výrazně lepší. Pokud není kleština zatlačována nebo vtahována přesně v ose kuželové dutiny, dochází k lehkému vychýlení její osy. Z toho důvodu může být upínaný nástroj vychýlen a dojde k házení ( $10 \div 20 \mu\text{m}$ ). Moderně řešené kleštinové upínače řeší tento problém buď přesným vedením upínací převlečné matice (typ HDZ a ERC), precizně kolmým stykem mezi maticí a kleštinou pomocí broušené tvrdokovové vložky, která navíc díky dvojitému kontaktu výrazně snižuje sklon k vibracím (Nikken Major Dream Holder Lock) nebo je kleština vtahována do kužele upínače osovým mechanismem. Házivost upnutého nástroje ve vzdálenosti  $3 \times D$  měřeno od čela upínače

je na vysoké úrovni ( $3 \div 5 \text{ } \mu\text{m}$ ). Takové upínače jsou osově symetrické a mohou být vyvážené na hodnotu G6,3 při 12 000 až 30 000  $\text{min}^{-1}$ . Díky tomu bývají využívány při vysokorychlostním obrábění - HSC. Kleštinové upínače jsou také více univerzální, protože použitá kleština umožňuje pracovat s částečnou deformací. Dovolují upínat nástroje s hladkou stopkou případně nástroje se zafrézovanou ploškou. Při použití nástroje s jiným průměrem upínací stopky potom u stejného upínače umožňuje pouhá výměna kleštiny. Špičkové kleštinové upínače mají v ose aretační šroub, který zajistí upnutí nástroje vždy do stejné polohy. Vnitřní součástky upínače mohou být navíc utěsněny. V tom případě mohou být použity nástroje s vnitřním přívodem procesní kapaliny.

Hydraulické upínače - využívají k přesnému upnutí stopky nástroje deformaci vnitřního pouzdra, vyvolanou zvýšením tlaku hydraulického média pomocí upínacího šroubku. Upínací pouzdro je osazeno drážkami, do nichž se při vysokém měrném tlaku při upnutí nástroje vytlačí olej a nečistoty, které by jinak mohly negativně ovlivnit přesnost upnutí – aktivní povrch pouzdra zůstává proto čistý. Vyznačují se velmi dobrým tlumením vibrací, jsou nenáročné na údržbu a dosahují házivosti  $\leq 3 \text{ } \mu\text{m}$ . Jsou snadno a rychle přestavitelné na jiný průměr upínané stopky pomocí přesných vložek. Nedochází u nich k poklesu upínací síly při vysokých otáčkách, jsou vhodné pro HSC obrábění. Tyto upínače mohou upínat pouze hladké stopky. Při upnutí nástroje s vyfrézovanou ploškou se vložka zbortí. Předepsaná tolerance stopky je h7. Dle typu mohou být standardně vyvažovány až na hodnoty G2,5 při 25 000  $\text{min}^{-1}$ . Ve firmě Frentech se do tohoto typu držáků upevňují pouze vrtáky z HSS a nebo PM.

Tepelné upínače – ideální držák s ohledem na symetrii nástroje a přenášený krouticí moment. Ve Frentechu je používán nejčastěji. Konstrukce držáku zajišťuje vysokou přesnost obvodového házení. Princip upínání spočívá v tom, že po ohřevu dříku upínače na přesnou teplotu se zvětší i průměr přesně opracovaného otvoru dříku, do něhož lze vsunout stopku upínaného nástroje; po vychladnutí upínače se zmenší jeho vnitřní průměr a stopka nástroje je pevně upnuta. Díky osově souměrné stavbě jsou vhodné pro velmi vysoké otáčky, radiální házivost se pohybuje okolo  $3 \text{ } \mu\text{m}$  a štíhlý dřík dovoluje práci v hlubokých dutinách. Vnější tvar upínače má sklon  $3^\circ$ , což odpovídá úhlu úkosu používanému u forem a práce v blízkosti žeber obráběných součástí. Tento typ upínačů je citlivý na správně vyrobený průměr a toleranci upínané stopky – pro průměry do 5 mm v přesnosti h5, pro větší h6 – což je podmínka bezpečného upnutí, tak snadného vyjmutí nástroje. Držáky jsou vybavovány systémy přesného axiálního nastavení nástroje a vnitřního přívodu procesní kapaliny (upínače WNT). K dalším přednostem patří jednoduchá obsluha upínací techniky.



**Shrnutí:** Z důvodu velkého vyložení nástrojů (nevhodné upnutí obrobku především v I. poloze viz Obr. 4) jsou použity kleštinové nebo tepelné upínače v provedení long a extra long.

**Doporučení:** Nahradit upínači v provedení short

### 3.3 Upnutí obrobku

Pro upnutí součástky je využito dvou zakoupených svěráků NCG.100.89-245-30KN. Upnutí je tuhé s vyhovující opakovatelnou přesností. Problém je v nadměrné velikosti svěráku a v jeho tvaru. Z důvodu špatného přístupu k součásti v upnutém stavu musí být použity prodloužené upínače. Při nasazení nástrojů z SK s rozměry menšími než  $\varnothing 5.7$  mm se na povrchu obráběné plochy začíná projevovat chvění – nesymetrické stopy. U frézy  $\varnothing 2.5$  mm nástroj T9 původně z SK docházelo k lomu. Proto musí být použity nástroje z HSS a nebo PM.

**Shrnutí:** Pro výrobní operace je používán nevhodný svěrák.

**Doporučení:** Nahradit svěrák NCG.100.89-245-30KN jednoduchým upínacím přípravkem RT11032017 vlastní konstrukce, viz příloha C.

### 3.4 Obráběcí stroj

Čtyřosá frézka Mazak H400N je vybavená systémem dvou palet. Jedna paleta je v pracovním prostoru stroje a probíhá na ni obrábění, druhá paleta je v seřizovacím prostoru. V překrytém čase se na ni upíná polotovár. Na každé paletě je upevněn jeden svěrák. První možností náhrady CNC frézky je přímý nástupce stroje je Mazak H4000 II. Je zachován systém dvou palet, kapacita zásobníku nástrojů se zvýšila ze 40 na 60 kusů. Modernější verze má vyšší výkon na vřetení a pro obráběnou součástku je důležitá možnost pracovat v pásnu vyšších otáček, z původních  $10\,000\text{ min}^{-1}$  na  $18\,000\text{ min}^{-1}$ . Dutina vřetene frézky vyžaduje nástroje s jiným kuzelem, a to z původního SK40 podle DIN69871 na HSK63A podle DIN69893. Potřebné upínače nástrojů jsou na nový stroj zakoupeny v dostatečném množství. Druhou alternativou náhrady je i z hlediska volných výrobních kapacit FEHLMANN PICOMAX 95. Jedná se o tříosé obráběcí centrum, které má z důvodu dosažení ještě lepších technologických možností na pracovním stole stroje stabilně upevněnou naklápěcí vertikální CNC děličku (osa B), kterou je možno v obou směrech plynule otáčet (osa C). Základem děličky je karbidový šnek a ocelové kalené šnekové kolo, které je nutné při obrábění vždy zafixovat zabudovanou brzdou. V podstatě se tedy jedná o pětiosou frézku, která umožňuje využít až  $20\,000\text{ min}^{-1}$  otáček. Výhodou pracoviště je i možnost využití průmyslového robota pro zakládání polotovarů. Součástí

pracoviště jsou dva kruhové čtyřpatrové natáčecí zakladače, ve kterých jsou celkem tři druhy upínacích přírub. Na tyto příruby se šrouby a polohovací kameny připevňují montážní desky, vybavené různými průměry otvorů vyrobených v pravidelných řadách (rastrech).

**Shrnutí:** Při dostatečném množství jednoduchých upínacích přípravků RT11032017, které by byly imbusovými šrouby upevněny k přírubám místo montážních desek, je možné využít přítomnost robota pro bezobslužný provoz.

**Doporučení:** Nahradit čtyřosou frézku Mazak H400N pětiosým strojem Picomax 95. Výhody navrhovaného řešení jsou patrné z následující tabulky 19 - parametry strojů.

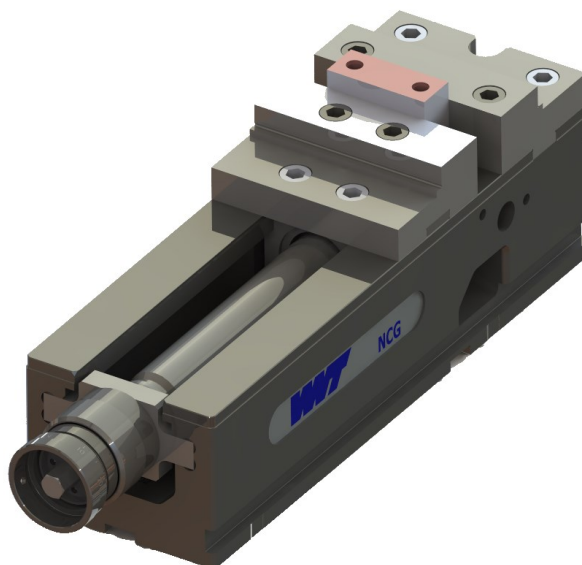
Tab. 19 - Parametry strojů [Interní zdroj firmy Frentech]

		Mazak H 400 N	Mazak H 4000 II	Picomax 95
Pojezd stolu v ose X	[mm]	560	560	800
Pojezd stolu v ose Y	[mm]	510	630	500
Pojezd vřetena v ose Z	[mm]	510	640	610
Otočení stolu / přesnost	[°]	360 / 1	360 / 0,001	360 / 0,001
Naklopení stolu / přesnost	[°]			+110 -10 / 0.001
Rychloposuv (X, Y, Z)	[mm × min <sup>-1</sup> ]	1 ÷ 30 000	1 ÷ 60 000	1 ÷ 48 000
Posuv (X, Y, Z)	[mm × min <sup>-1</sup> ]	1 ÷ 8 000	1 ÷ 60 000	1 ÷ 30 000
Rozsah otáček vřetena	[min <sup>-1</sup> ]	35 ÷ 10 000	35 ÷ 18 000	50 ÷ 20 000
Výkon (30 minut / trvalý)	[kW]	11 / 7,5	35 / 26	24 / 18,5
Krouticí moment	[N × m]	84	168	120
Počet nástrojů v zásobníku	[ks]	40	60	100
Maximální průměr nástroje / bez okolních nástrojů	[mm]	95 / 150	95 / 150	80 / 160
Maximální délka nástroje	[mm]	320	420	350
Maximální hmotnost nástroje + upínač	[kg]	12	12	5
Upínací kužel	[ - ]	SK DIN 69871 A ISO 40	DIN 69893-1 HSK-A63	DIN 69893-1 HSK-A63
Rozměry stolu (délka / šířka / výška)	[mm]	400 / 400 / 600	400 / 400 / 900	1600 / 550 / 770
Počet palet	[ ks]	2	2	1
Maximální zatížení stolu	[kg]	400	400	600
Rozměry stroje (délka / šířka / výška)	[m]	4,3 / 5,2 / 2,9	5,0/ 5,1 / 4,2	3 / 2,2 / 3,1
Chladicí systém	[ - ]	Bez střed. chlazení	Středem vřetena	Středem vřetena
Váha stroje	[kg]	10 000	10 700	9 100
Řídicí systém	[ - ]	Mazatrol M-32	Mazatrol M-40	Heidenhain iTNC 530

### 3.5 Nová technologie (příprava polotovaru)

Frézování polotovaru se provede na stejném stroji, tedy na frézce FJV20 CNC za pomoci stejného zakoupeného svěráku NCG.100.89-245-30KN jako u původní technologie. Obrábění se tentokrát uskuteční pouze v jedné poloze. Cílem je zarovnat čelo, předvrtat a vyřezat dva závity M8. Výchozí polotovar o rozměrech 65 x 25 x 52 bude opracován pouze na jedné ploše na konečné rozměry 65 x 25 x 51. Požadavek na rovnoběžnost dvou protilehlých čel definovaných rozměry 65 x 51 s rovnoběžností do  $\pm 0.05$  mm odpadá, protože se při obrábění bude ustavovat na přípravek pouze na opracovanou plochu a upínat za oba závity M8 opatřené zahloubením. V prvním úkonu ve

II. poloze se přídavný materiál odstraní odříznutím SK pilkou upevněnou na vhodném upínači (Obr. 7).



Obr. 7 - Svěrák NCG.100.89-245-30KN s upnutým polotovarem v nové technologii

Tab. 20 - Použité řezné nástroje (nová technologie - příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce	Odkaz
T1	Fréza $\varnothing$ 50	A490.50.R.05-12	5	SDHT120508FR-27P H216T	Ceratizit	[9] [10]
T22*	NC navrtávák $\varnothing$ 12	10 702 012	2	SK	WNT	[31]
T23*	Vrták $\varnothing$ 6.8	11 623 068	2	SK	WNT	[32]
T24*	Závitník M8	B0504500.0080	2	HSS	EMUGE	[33]

Poznámky \* - označení nového nástroje

Tab. 21 - Řezné podmínky (nová technologie - příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c$ [m $\times$ min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$v_f$ [mm $\times$ min <sup>-1</sup> ]	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [%]	$a_e$ [mm]
T1	50	5	251	0,05	400	1600	2	50	25
T22*	12	2	180	$f_n = 0,11$	525	4780			
T23*	6.8	2	200	$f_n = 0,21$	1970	9370			
T24*	8	3	15	$f_n = 1,25$		600			

Vzorový výpočet řezných podmínek pro frézování pro T1:

Výpočet otáček:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{251 \cdot 1000}{50\pi} = 1598 \cong 1600 [\text{min}^{-1}]$$

Rychlost posuvu:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,05 \cdot 5 \cdot 1600 = 400 [\text{mm} \times \text{min}^{-1}]$$

Vzorový výpočet otáček při vrtání pro nástroj T23:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{200 \cdot 1000}{6,8 \cdot \pi} = 9363 \cong 9370 [\text{min}^{-1}]$$

Rychlost posuvu pro nástroj T23:

$$v_f = f_u \cdot n = 0,21 \cdot 9370 = 1968 \cong 1970 [\text{mm} \times \text{min}^{-1}]$$

Tab. 22 - Jednotkový strojní čas (nová technologie - příprava polotovaru)

Číslo nástroje	Nástroj	úkon	tas [min]
T1	Fréza ø 50	Obrábění základní roviny 65 x 25 do hl. 2 mm $L = (ln + l + lp) = (27 + 65 + 27) = 119 [\text{mm}]$	0.30
T22*	NC navrtávák ø 12	Navrtat (zhloubit) otvor pro M8- 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (2 + 7 + 2) = 22 [\text{mm}]$	0.04
T23*	Vrták ø 6.8	Předvrtat otvory pro M8 do hl. 11- 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (2 + 11 + 2) = 30 [\text{mm}]$	0.01
T24*	Závítník M8	Řezat závit M8 do hl. 7- 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (2 + 7 + 2) = 22 [\text{mm}]$	0.03

Celkový jednotkový strojní čas pro přípravu polotovaru je

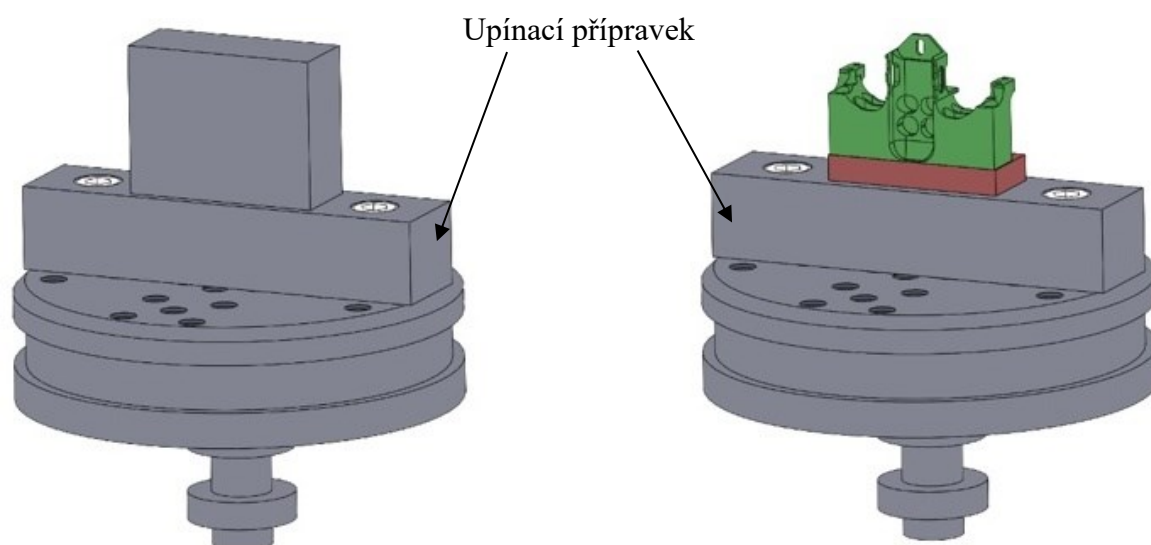
$$t_{ASPPN} = \sum t_{AS}$$

$$t_{ASPPN} = 0.38 \text{ min}$$

### 3.6 Nová technologie (výroba součástí)

Finální výroba součástky bude provedena na stroji FEHLMANN PICOMAX 95. Díky přesunutí výroby z čtyřosé frézky Mazak H400N na pětiosý stroj se zredukuje potřebný počet poloh upnutí, a to ze tří na dvě.

V I. poloze se obrobek pomocí dvou imbusových šroubů přišroubuje k upínacímu přípravku RT11032017, který bude druhou dvojicí imbusových šroubů zafixován k přírubě zakladače průmyslového robota určeného pro zakládání polotovarů. Za pomoci robota se příruba s přípravkem a upnutým polotovarem vloží do děličky obráběcího stroje a upevní se. Před zahájením obrábění sejme kusová dotyková sonda Renishaw, (která je spolu s nástrojovou sondou součástí pracoviště) polohu čtyř bodů v rozích součásti, otočí přírubu C osou o 180° a sejme v protilehlých rozích další čtyři body. Řídící systém součástkou proloží podle naskenovaných bodů fiktivní rovinu a obrábění může pomocí 19. nástrojů uvedených v tabulkách 23 až 25 začít. Rozměry opracovaného polotovaru 65 x 25 x 51 se po ukončení obrábění v I. poloze změni na rozměr 59 x 18.5 x 50. Na obrázku vpravo je červeně znázorněn přídavek pro upnutí, který se odstraní ve II. poloze. Náčrt upnutí je uveden na (Obr. 8).



Obr. 8 - Upnutí do přípravku - (I. poloha) vlevo materiál před obráběním, vpravo po ukončení obrábění

Tab. 23 - Použité řezné nástroje (nová technologie - I. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce	Od kaz
T1	Fréza ø 50	A490.50.R.05-12	5	SDHT120508FR- 27P H216T	Ceratizit	[9] [10]
T2	Fréza ø 10 Hr	490VL100R100Z2. 0A-MEGA-T	2	SK	SECO	[12]

T3	Fréza ø 8	52 115 080	6	SK	WNT	[13]
T4*	Vrták ø 5.7	11 623 057	2	SK	WNT	[34]
T5	Fréza ø 10 R 2.5	440100-MEGA-T	2	SK	SECO	[15]
T6	Fréza ø 5 R1	421050R100Z2- MEGA-T	2	SK	SECO	[16]
T7*	Fréza ø 5	JS452050G2CZ2.0- HEMI	2	SK	SECO	[35]
T8*	Fréza ø 2	JS452020G2CZ2.0- HEMI	2	SK	SECO	[36]
T9*	Fréza ø 2.3	50 900 232	2	SK	WNT	[37]
T10	Fréza ø 6	52 115 060	6	SK	WNT	[20]
T11	Odhrotovač NC ø 6 x 45°	52 158 060	4	SK	WNT	[21]
T12	Odhrotovač NC ø 4 x 45°	52 158 040	4	SK	WNT	[22]
T13*	Fréza ø 4	JS452040G2CZ2.0- HEMI	2	SK	SECO	[38]
T14	NC navrtávák ø 4	10 702 004	2	SK	WNT	[25]
T15*	Vrták ø 2.33	TE213324..0233	2	SK	EMUGE	[39]
T16*	Vrták ø 2.8	TE213324..0280	2	SK	EMUGE	[40]
T17*	Vrták ø 3	11 623 030	2	SK	WNT	[41]
T18	Závitník M2.5	B0911300.0025	1	HSS	EMUGE	[29]
T19	Výstružník ø 3.02H4	4011503020	6	HSS	WNT	[30]

Tab. 24 - Řezné podmínky (nová technologie - I. poloha)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c [m \times min^{-1}]$	$f_z [mm]$	$v_f [mm \times min^{-1}]$	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p [mm]$	$a_e [%]$	$a_e [mm]$
T1	50	5	251	0,05	400	1600	0.5 a 2,2	80	40
T2	10	2	250	0,03	480	8000	18.5	100	10
T3	8	6	221	0,01	530	8800	0.2	100	10

T4*	5.7	2	200	$f_n = 0,21$	2350	11170			
T5	10	2	250	0,03	500	8000	1.3	100	10
T6	5	2	310	0.02	790	19750	0.6	10	1
T7*	5	2	310	0,03	1185	19750	1.2	100	5
T8*	2	2	126	0.02	640	20000	1	100	2
T9*	2.3	2	144	0.02	680	20000	1	100	2.3
T10	6	6	173	0.01	550	9200	6	20	1.2
T11	6	4	130	0.01	275	6900	1	17	1
T12	4	4	126	0.01	500	10000	0,2	5	0,2
T13*	4	2	250	0.02	1194	19900	2	100	4
T14*	4	2	180	$f_n = 0,07$	1003	14330			
T15*	2.33	2	146	$f_n = 0,13$	2600	20000			
T16*	2.8	2	176	$f_n = 0,13$	2600	20000			
T17*	3	2	188	$f_n = 0,13$	2600	20000			
T18	2.5	1	25	$f_n = 0,45$		3185			
T19	3	6	20	$f_n = 0,12$	255	2120			

Tab. 25 - Jednotkový strojní čas (nová technologie - I. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	úkon	čas [min]
T1	Fréza ø 50	Obrábění vnějšího tvaru na rozměry 59 x 18.5 do hloubky 40 na hotovo $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (27 + 25 + 27) = 158$ [mm] $L = 3 \cdot (ln + l + lp) = 3 \cdot (27 + 59 + 27) = 226$ [mm]	0.96
T2	Fréza ø 10	Hrubovat horní tvar s R 5 a R 7 $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2(7 + 212 + 3) = 444$ [mm] B+180° - Hrubovat zadní stranu $L = ln + l + lp = 7 + 200 + 7 = 214$ [mm]	0.93
T3	Fréza ø 8	Frézovat na hotovo horní tvar s R 5 a R 7 $L = ln + l + lp = 7 + 115 + 3 = 125$ [mm] B+180° - Frézovat na hotovo zadní stranu $L = ln + l + lp = 7 + 200 + 7 = 214$ [mm] B+90° a B-90° - Hotově R10 $L = 2(ln + l + lp) = 2(6 + 20 + 2) = 56$ [mm]	0.75
T4*	Vrták ø 5,7	Předvrtat drážku 6.6 x 7 s R 3 – 4x $L = 4 \cdot (ln + l + lp) = 4 \cdot (2 + 9 + 0) = 44$ [mm]	0.02
T5	Fréza ø 10 R 2.5	Hrubovat vybrání 16 x 34.8 do hl. 6.4 – 5x $L = 5 \cdot (ln + l + lp) = 5 \cdot (7 + 76 + 7) = 450$ [mm]	0.90
T6	Fréza ø 5 R 1	Hrubovat vybrání 16 x 34.8 do hl. 6.4 – 11x $L = 11 \cdot (ln + l + lp) = 11 \cdot (5 + 76 + 5) = 946$ [mm]	1.20
T7*	Fréza ø 5	Frézovat na hotovo drážku 6.6 x 7 s R 3 – 4x $L = 4 \cdot (ln + l + lp) = 4 \cdot (2 + 81 + 0) = 332$ [mm] Frézovat na hot. vybrání pod drážku 2.6 x 5.1 $L = ln + l + lp = 5 + 40 + 5 = 50$ [mm]	0.44



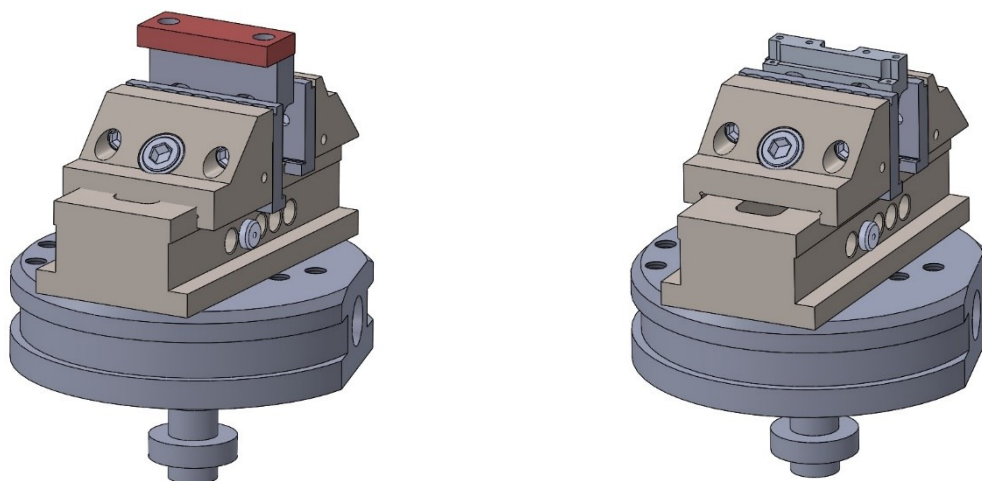
		B+ 180° - Hotově 7.2 x 18 do hl. 1.5 s 1 x 45° - 5x $L = 5 \cdot (ln + l + lp) = 5 \cdot (5 + 18 + 5) = 140 [\text{mm}]$	
T8*	Fréza ø 2	Frézovat na hotovo drážku 2.6 x 5 na dvě hl. $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (3 + 16 + 2) = 42 [\text{mm}]$	0.07
T9*	Fréza ø 2.3	Frézovat na hotovo drážky 3 x 8 do hl. 3 – 2x $L = 6 \cdot (ln + l + lp) = 6 \cdot (3 + 25 + 2) = 180 [\text{mm}]$ Frézovat osazení drážky na 4 x 9 do hl. 0.5 - 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (3 + 30 + 2) = 70 [\text{mm}]$ B+ 90° a B- 90° drážku 5.6 s R 1.5 – 4x $L = 8 \cdot (ln + l + lp) = 8 \cdot (4 + 9 + 4) = 136 [\text{mm}]$	0.57
T10	Fréza ø 6	B+90° a B- 90° vnější tvar s R 3 a R 1.5 – 2x. $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (5 + 25 + 5) = 70 [\text{mm}]$ Frézovat na hotovo sražení 45° - 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (5 + 8 + 5) = 36 [\text{mm}]$	0.19
T11	Odhrotač NC ø 6 x 45°	B+180° - Hotově sražení 1 x 45° v délce 18 - 4x $L = 4 \cdot (ln + l + lp) = 4 \cdot (4 + 18 + 4) = 104 [\text{mm}]$	0.38
T12	Odhrotač NC ø 4 x 45°	Hotově sražení 0.2 x 45° $L = ln + l + lp = 6 + 140 + 6 = 152 [\text{mm}]$ $L = ln + l + lp = 6 + 94 + 6 = 106 [\text{mm}]$	0.52
T13*	Fréza ø 4	Frézovat na hotovo drážku 12 x 4.5 – 2x $L = 6 \cdot (ln + l + lp) = 6 \cdot (2 + 48 + 2) = 312 [\text{mm}]$ Fréz. hotově drážku 12 x 6 s vybráním 6 x 6 -2x $L = 8 \cdot (ln + l + lp) = 8 \cdot (2 + 52 + 2) = 448 [\text{mm}]$	0.64
T14*	NC navrtávák ø 4	Navrtat ø 3 E9 -2x, ø 3 -2x a M2.5 - 4x $L = 8 \cdot (ln + l + lp) = 8 \cdot (2 + 2 + 2) = 48 [\text{mm}]$	0.05
T15*	Vrták ø 2,33	Předvrtat otvor pro M2.5 – 4x $L = 4 \cdot (ln + l + lp) = 4 \cdot (2 + 8 + 0) = 40 [\text{mm}]$	0.02
T16*	Vrták ø 2.8	Předvrtat otvor pro ø 3 E9– 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (2 + 15 + 0) = 34 [\text{mm}]$	0.01
T17*	Vrták ø 3	Vrtat otvor ø 3 – 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (2 + 5 + 0) = 14 [\text{mm}]$	0.01
T18	Závitník M2.5	Tvářet závit M2.5 - 6H– 4x $L = 4 \cdot (ln + l + lp) = 4 \cdot (2 + 8 + 8) = 72 [\text{mm}]$	0.05
T19	Výstružník ø 3.02H4	Vystružit otvor ø 3 E9– 2x $L = 2 \cdot (ln + l + lp) = 2 \cdot (2 + 15 + 15) = 64 [\text{mm}]$	0.25

Celkový jednotkový strojní čas pro I. polohu je

$$t_{ASVSNI} = \sum t_{AS}$$

$$t_{ASVSNI} = 7.96 \text{ min}$$

**II. poloha** součástka bude upnuta do svěráku FMTP (výrobek Frentech, objednací číslo FCS-FMTP-001-140)[68], který je šrouby upevněn k přírubě. Svěrák je ideálním řešením pro upínání drobných dílů z hliníkových slitin. Pro upínání měkkých materiálů je vybaven sadou měkkých čelistí FCS-FMTP-001-M. Pro své kompaktní rozměry a vhodný tvar je vhodný pro pětiosé obrábění. Jeho velkou výhodou je možnost využití v automatizovaném provozu ve spojení s paletovým upínacím systémem EROWA. Je vyroben z nástrojové oceli, kalený a přesně broušený. Prvním úkonem v této poloze bude odříznutí zbytkového materiálu s přídavkem na plochu 3 mm. Frézou  $\varnothing 20$  bude plocha zarovnána s ohledem na míru 34.8. Následuje další obrábění popsané v tabulce 25. až 27. Na obrázku vpravo je červeně znázorněn přídavek pro upnutí, který se odstraní ve II. poloze. Náčrt upnutí je uveden níže (Obr. 9).



Obr. 9 - Upnutí do svěráku - (II. poloha) vlevo obrobek před obráběním, vpravo po ukončení obrábění

Tab. 26 - Použité řezné nástroje (nová technologie - II. poloha)

Číslo nástroje	Nástroj	Označení	Počet zubů	Označení plátku	Výrobce	Odkaz
T21*	Pilka $\varnothing 80$ š=2	CIRCO-LINE Type 1103	128	SK	PM TECH Str. 5.02	[42]
T20	Fréza $\varnothing 20$	52 115 200	8	SK	WNT	
T10	Fréza $\varnothing 6$	52 115 060	6	SK	WNT	
T12	Odhrotovač NC $\varnothing 4 \times 45^\circ$	52158040	4	SK	WNT	

Tab. 27 - Řezné podmínky (nová technologie - II. poloha)

Číslo nástroje	Průměr nástroje	Zuby frézy	Řezná rychlost	Posuv na zub	Rychlost posuvu	Otáčky	Velikost třísky	Překrytí nástroje	
[-]	D [mm]	z [-]	$v_c [m \times min^{-1}]$	$f_z [mm]$	$v_f [mm \times min^{-1}]$	n [min <sup>-1</sup> ]	$a_p [mm]$	$a_e [%]$	$a_e [mm]$
T21*	80	128	300	0.002	300	1194	13.6	74	59
T20	20	8	126	0,05	800	2000	10.6	0.15	3
T10	6	6	173	0.01	550	9200	8.6	25	1.5
T12	4	4	200	0.01	640	15920	0,2	5	0,2

Tab. 28 - Jednotkový strojní čas (nová technologie - II. poloha)

	Nástroj	úkon	tas [min]
T21*	Pílka ø 80 š = 2	Podříznutí kusu $L = l_n + l + l_p = 2 + 59 + 9 = 70 [mm]$	0.23
T20	Fréza ø 20	Obrábění základny 10.6 x 59 na 34,8 hotově $L = l_n + l + l_p = 8 + 59 + 8 = 75 [mm]$ Frézovat hotově oplošení 7.6 x 59 do hl. 3 mm $L = (l_n + l + l_p) = (8 + 59 + 8) = 75 [mm]$	0.2
T10	Fréza ø 6	Frézovat hotově vybrání s R 3.75 do hl. 8.6- 2x $L = 6 \cdot (l_n + l + l_p) = 6 \cdot (4 + 11 + 4) = 114 [mm]$	0.21
T12	Odhrotač NC ø 4x45°	Odjehlení kontury $L = l_n + l + l_p = 6 + 180 + 6 = 192 [mm]$	0.3

Poznámka \* - označuje nového nástroje

Celkový jednotkový strojní čas pro II. polohu je  $t_{ASVSII} = \sum t_{AS}$   
 $t_{ASVSII} = 0.94 \text{ min}$

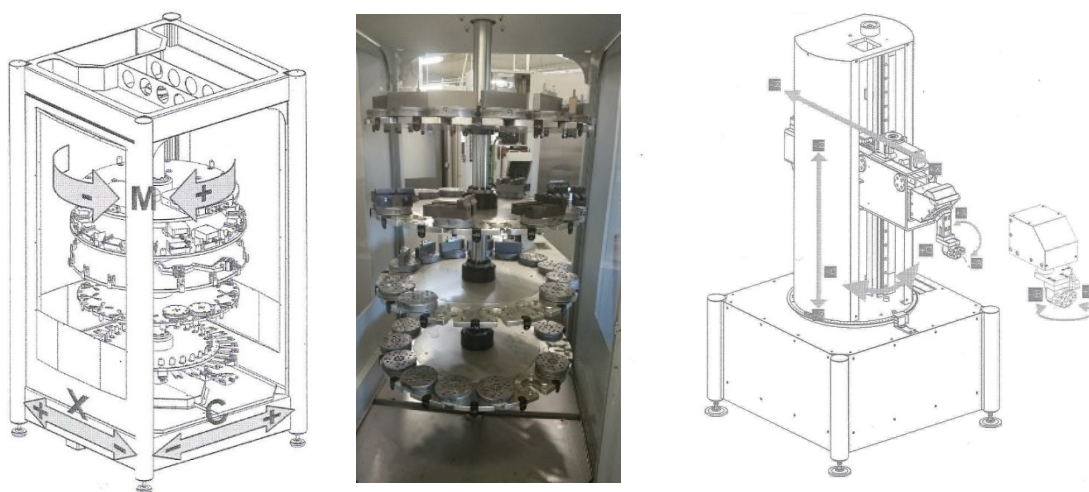
Celkový jednotkový strojní čas:  $t_{ASVSN} = t_{ASVSI} + t_{ASVSII}$   
 $t_{ASVSN} = 8,9 \text{ min}$

Tab. 29 - Nově navrhované řezné nástroje a upínače

Číslo nástroje	Název nástroje	Tvar stopky	Průměr stopky [mm]	Středové chlazení	Upínač	Středové chlazení	Výrobce	Odkaz
T1	Fréza ø 50			Ano	A155.7.063.100.22.HSK	Ne	Walter	[43]
T2	Fréza ø 10 Hr	DIN 6535 HA	10	Ne	84 306 110	Ano	WNT	[44]
T3	Fréza ø 8	DIN 6535 HB	8	Ne	84 306 108	Ano	WNT	[45]
T4*	Vrták ø 5.7	DIN 6535 HA	6	Ano	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T5	Fréza ø 10 R2.5	DIN 6535 HA	10	Ne	84 306 110	Ano	WNT	[43]
T6	Fréza ø 5 R1	DIN 6535 HA	6	Ne	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T7*	Fréza ø 5	DIN 6535 HA	6	Ne	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T8*	Fréza ø 2	DIN 6535 HA	6	Ne	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T9*	Fréza ø 2.3	DIN 6535 HA	3	Ne	84 306 103	Ano	WNT	[47]
T10	Fréza ø 6	DIN 6535 HB	6	Ne	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T11	Odhrotovač NC ø 6 x 45°	DIN 6535 HA	6	Ne	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T12	Odhrotovač NC ø 4 x 45°	DIN 6535 HA	4	Ne	84 306 104	Ano	WNT	[48]
T13*	Fréza ø 4	DIN 6535 HA	6	Ne	84 306 104	Ano	WNT	[48]
T14*	Navrtávák ø 4	DIN 6535 HA	4	Ne	84 306 104	Ano	WNT	[48]
T15*	Vrták ø 2.33	DIN 6535 HA	4	Ano	84 306 104	Ano	WNT	[48]
T16*	Vrták ø 2.8	DIN 6535 HA	4	Ano	84 306 104	Ano	WNT	[48]
T17*	Vrták ø 3	DIN 6535 HA	6	Ano	84 306 106	Ano	WNT	[46]
T18	Závitník M2.5	DIN 2174	2,8 Čtverec 2,1	Ne	83 612 101 A320M.0.40.110.19 A102M.0.63.070.040 A100M.7.063.075.63.HSK		WNT Walter Walter Walter	[49] [50] [51] [52]
T19	Výstružník ø 3.02H4	DIN 1835 A	3	Ne	81 735 625 83 667 030 – kleština	Ano	WNT	[53] [54]
T20	Fréza ø 20	DIN 6535 HB	20	Ne	84 306 120	Ne	WNT	[55]
T21*	Pilka ø 80/16 š=2	DIN 6535 HA	20	Ne	2810-16-20 83 668 200 81 735 632	Ne Ne	PM TECH WNT	[42] [56] [57]
T22*	NC navrtávák ø 12	DIN 6535 HA	12	Ne	84 306 112	Ano	WNT	[58]
T23*	Vrták ø 6.8	DIN 6535 HA	8	Ano	84 306 108	Ano	WNT	[45]
T24*	Závitník M8	DIN 371	8 Čtverec 6,2	Ne	A331.0.19.025.08 A320M.0.40.110.19 A102M.0.63.070.040 A100M.7.063.075.63.HSK		Walter	[59] [50] [51] [52]

### 3.7 Robot pro zakládání polotovarů

Z důvodu automatického zakládání polotovarů je pracoviště se strojem Picomax 95 od okamžiku prvního zprovoznění vybaveno robotem švýcarské firmy Erowa. V dosahu robotického ramene je i druhé pracoviště, obsazené strojem Picomax 90. Oba stroje se kromě rozjezdů, výkonu na vřetení a celkové tuhosti liší i v tom, že Picomax 90 je vybaven jako jediný obráběcí stroj ve využívaném strojovém parku firmy vřetenem s SK30 podle DIN69871. Toto zařízení tedy umožňuje provádět bezobslužný provoz obou obráběcích strojů, a podle pracovníků řízení výroby se využívá buď od výrobních dávek nad 30 kusů, nebo při opakující se výrobě, kdy je strojní čas delší než 30 minut. Pokud je zařízení, využíváno především na noční bezobslužné směně, musí být aktivní nástrojová sonda Renishaw, která vyhodnocuje rozměry nástrojů (sleduje, zda nedošlo k lomu nástroje). Samotný robot je výrobcem označen jako EROWA Multi Heavy ERS. Je to robot s paletami, které se pomocí chapače automaticky vkládají bočními dveřmi do pracovního prostoru stroje. Na každou paletu je možno umístit obrobek o velikosti 510 x 510 mm nebo o průměru 600 mm a hmotnosti až 250 kg. Všechny programy pro dílce jsou uloženy v řídicím systému stroje a vybírají se z PLC na základě čísla palety vložené do stroje. Konstrukční řešení umožňuje rychlou výměnu palet s obrobky. Upínání obroků na paletu se provádí mimo stroj v prostoru pro seřizování a montáž. Palety jsou buď čtvercového tvaru o velikosti 500 x 500 mm nebo kruhové o několika různých průměrech. Upnutí palety je mechanické (pomocí pružin), uvolňuje se hydraulicky. Typ upínání mezi robotem a paletou je UPC. Upínací síla je až 50 kN, tlak vzduchu je 7 barů. Opakovaná přesnost upínání je 0,005 mm. Palety se ukládají do speciálních stojanů. Na obrázku pod textem je schéma robotu.



Obr. 10 - zásobník a robot

### 3.8 Návrh nového technologického postupu

Č. op. Popis op.	Pracoviště	Př. str. č.	Str. čas/1 kus	Strojní čas- dávka
Dávka: 50 ks		[min]	[min]	[min]
10 Řezání tyčí	P01	10	1,5	75,00
Řezat tyč 65 x 25 mm na délku L = 52 mm				
20 Frézování – příprava polotovaru CNC FJV 20	F03	60	1,50	75,00
Program číslo: ..... Zarovnat základnu: 65 x 25 x 51				
30 Frézování – CNC Picomax P95 s ERS	F08	130	9,00	450,00
Program č.: ..... Model:63_7285_863_01stp001_0c00_001[1].stp frézovat zhruba hotově, vrtat a stružit otvory závity M2,5 tvářet, strojně odjehlít co nejvíce hran, Pozor nepoškrábat kusy!				
40 Zámečník	Z01	15	10,00	500,00
Celkově odjehlít pod mikroskopem, čistit dle SP-019 typ 1 nebo typ 3. Není nutno balit po čištění do dvou sáčků, stačí čisté blistry				
50 Konečná kontrola	K04	0,06	0,00	0,00
60 Balení	BAL	0,00	0,06	3,00
Typ „Z“ – nekonzerovat, balit Jednotlivě do blistru. Pozor - blistry nutno po stěnách vytěsnit papírovou nebo polystyrenovou drtí				
70 Doklady požadované pro výrobní dávku	DDD	0,06	0,00	0,00
Certifikát od materiálu EN 10204-3.1.B, Certifikát o shodě				

## 4. Technicko-ekonomické zhodnocení

V tomto bodě své diplomové práce se budu zabývat technicko-ekonomickým zhodnocením. Budu postupovat podle zavedených zvyklostí a požadavků ve firmě Frentech. Nebudu se zabývat stejnými operacemi, které se opakují v původní i nové technologii a nemění se. Nezohledním náklady na nástroje a jejich opotřebení, které zůstanou u obou způsobů výroby stejné. Rozdíl je ve výrobě a použití nového upínacího přípravku RT11032017, viz příloha D. Výroba přípravků je zahrnuta v režijních nákladech dílny. Každé pracoviště je vybaveno dostatečným množstvím nástrojových upínačů, které se pružně doplňují podle potřeb výroby. K tématu budu přistupovat z hlediska jednotkových strojních časů a hodinových sazeb na jednotlivých pracovištích. Údaje byly získány od pracovníků přípravy výroby, kteří s nimi pracují při vypracování nabídek zákazníkům. Zhodnocení bude provedeno pro výrobní dávky 10, 30, 50, 100 a 200 kusů. Právě na tyto počty byla vypracovaná původní nabídka, a proto se nabízí možnost srovnání.

### 4.1 Čas přípravy a čas obrábění

V původní technologii byla do zhodnocení zahrnuta příprava polotovaru na stroji FJV 20 a výroba součásti na stroji H400N. Čas přípravy pro jednotlivá pracoviště je uveden v původním technologickém postupu, viz příloha B. Hodnota času výroby pro jeden kus byla získána při simulaci pohybu nástrojů na pracovišti programátorů a je uvedena na seřizovacích listech, viz příloha C. Výrobní časy jsou uvedeny v tabulce 30.

Tab. 30 - Původní technologie - výrobní časy

Pracoviště	Čas přípravy [min]	Čas výroby pro jeden kus [min]
FJV 20	60	1,34
H400N	120	14,7

Do zhodnocení v nové technologii je započítána příprava polotovaru na stroji FJV 20 (polotovar je opracován pouze na jedné ploše), a výroba součásti na stroji Picomax 95 s ERS. Dovětek „ERS“ znamená, že pracoviště je vybaveno robotem pro základní polotovary. Podle manažera výroby nemá být měněna doba přípravy u nové technologie z důvodu jiného počtu nástrojů, i když původní počet nástrojů se změnil z původních 20 na konečných 24. Důvodem je skutečnost, že nástroje včetně jejich seřízení se vychystají na pracovišti placené v režii. Místo jednoho upínacího přípravku však budou použity přípravky dva. Čas proto naroste o 10. minut. Výrobní časy jsou uvedené v tabulce 31.

Tab. 31 - Výrobní čas pro novou technologii

Pracoviště	Čas přípravy [min]	Čas výroby pro jeden kus [min]
FJV 20	60	0,38
Picomax 95 s ERS	130	8,9

## 4.2 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je provedeno s použitím hodinových sazeb pro jednotlivá pracoviště. Hodinová sazba pro stroji Picomax 95 s ERS je kalkulována včetně robota pro zakládání polotovarů a to bez ohledu na jeho využití

Tab. 32 - Hodinové sazby pracovišť [Interní zdroj firmy Frentech]

Pracoviště	Hodinová sazba [Kč]
HCN- 400 N.	1325
FJV 20	1287
Picomax95 s ERS	1620

Výpočet ceny pro jeden kus s ohledem na velikost výrobní dávky pro původní a novou technologii výroby dle vztahu [66]:

$$N = \sum \left( \frac{\text{doba přípravy [min]}}{60 \cdot \text{počet kusů}} \cdot \text{hodinová sazba [Kč]} + \frac{\text{čas pro výrobu jednoho kusu [min]}}{60} \cdot \text{hodinová sazba [Kč]} \right) [\text{Kč}]$$



### **Původní technologie:**

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 10 kusů:

$$N_{10,1} = \left( \frac{60}{60 \cdot 10} \cdot 1287 + \frac{1,34}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{120}{60 \cdot 10} \cdot 1325 + \frac{14,7}{60} \cdot 1325 \right) = 747,1 \text{ Kč} \quad (66.1)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 30 kusů:

$$N_{30,1} = \left( \frac{60}{60 \cdot 30} \cdot 1287 + \frac{1,34}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{120}{60 \cdot 30} \cdot 1325 + \frac{14,7}{60} \cdot 1325 \right) = 484,6 \text{ Kč} \quad (66.2)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 50 kusů:

$$N_{50,1} = \left( \frac{60}{60 \cdot 50} \cdot 1287 + \frac{1,34}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{120}{60 \cdot 50} \cdot 1325 + \frac{14,7}{60} \cdot 1325 \right) = 432,1 \text{ Kč} \quad (66.3)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 100 kusů:

$$N_{100,1} = \left( \frac{60}{60 \cdot 100} \cdot 1287 + \frac{1,34}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{120}{60 \cdot 100} \cdot 1325 + \frac{14,7}{60} \cdot 1325 \right) = 392,7 \text{ Kč} \quad (66.4)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 200 kusů:

$$N_{200,1} = \left( \frac{60}{60 \cdot 200} \cdot 1287 + \frac{1,34}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{120}{60 \cdot 200} \cdot 1325 + \frac{14,7}{60} \cdot 1325 \right) = 373,1 \text{ Kč} \quad (66.5)$$

### **Nová technologie:**

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 10 kusů:

$$N_{10,2} = \left( \frac{60}{60 \cdot 10} \cdot 1287 + \frac{0,38}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{130}{60 \cdot 10} \cdot 1620 + \frac{8,9}{60} \cdot 1620 \right) = 728,2 \text{ Kč} \quad (66.6)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 30 kusů:

$$N_{30,2} = \left( \frac{60}{60 \cdot 30} \cdot 1287 + \frac{0,38}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{130}{60 \cdot 30} \cdot 1620 + \frac{8,9}{60} \cdot 1620 \right) = 408,4 \text{ Kč} \quad (66.7)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 50 kusů:

$$N_{50,2} = \left( \frac{60}{60 \cdot 50} \cdot 1287 + \frac{0,38}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{130}{60 \cdot 50} \cdot 1620 + \frac{8,9}{60} \cdot 1620 \right) = 344,4 \text{ Kč} \quad (66.8)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 100 kusů:

$$N_{100,2} = \left( \frac{60}{60 \cdot 100} \cdot 1287 + \frac{0,38}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{130}{60 \cdot 100} \cdot 1620 + \frac{8,9}{60} \cdot 1620 \right) = 296,4 \text{ Kč} \quad (66.9)$$

Výpočet ceny pro jeden kus na výrobní dávku 200 kusů:

$$N_{200,2} = \left( \frac{60}{60 \cdot 200} \cdot 1287 + \frac{0,38}{60} \cdot 1287 \right) + \left( \frac{130}{60 \cdot 200} \cdot 1620 + \frac{8,9}{60} \cdot 1620 \right) = 272,4 \text{ Kč} \quad (66.10)$$

### Srovnání cen výroby

Porovnání cen výroby na jeden kus v odlišných výrobních dávkách podle nové a původní technologie je uvedeno v tabulce 33. Z uvedených výsledků je patrné, že výroba s výrobní dávkou 200 ks je ekonomicky nejvýhodnější. Pro lepší znázornění jsou výsledky spravovány v grafu 1.

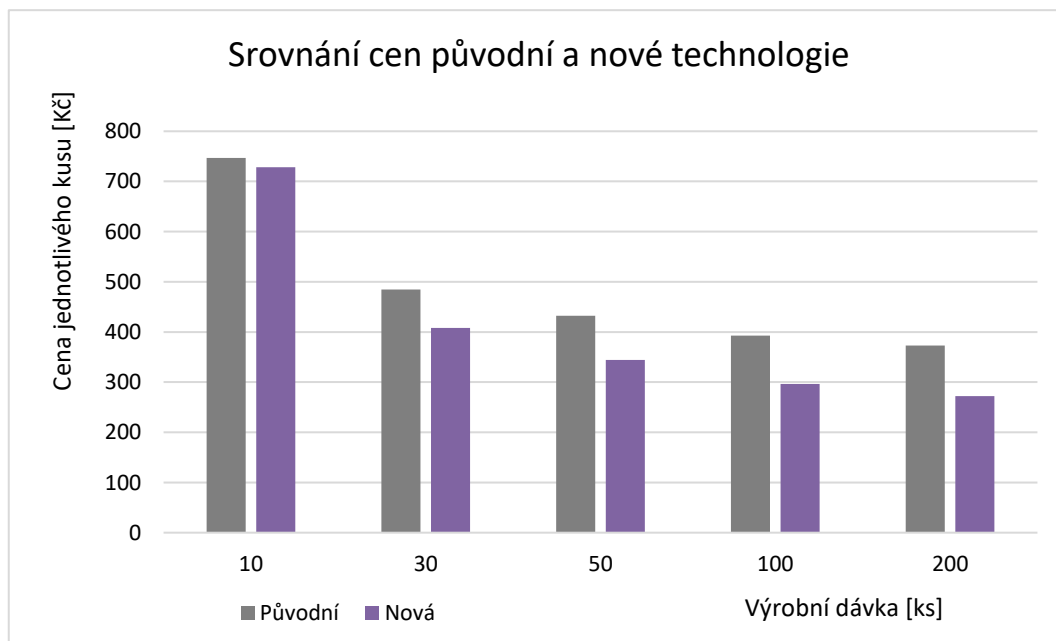
Tab. 33 - Kalkulace cen pro jednotlivé technologie

Výrobní dávka [ks]	10	30	50	100	200
Původní [Kč]	747,1	484,6	432,1	392,7	373,1
Nová [Kč]	728,2	408,4	344,4	296,4	272,4
Rozdíl [Kč]	18,9	76,3	87,7	96,3	100,6
Rozdíl [%]	2,5	15,7	20,3	24,5	27,0

### 4.3 Technické vyhodnocení

Přesunutí výroby na pracoviště Picomax 95 vybavené robotem pro zakládání polotovarů se i přes vyšší hodinovou sazbu stroje vyplatí už při výrobní dávce devíti kusů. Počet pracovních poloh se zredukoval ze tří na dvě. Vlivem vyššího počtu otáček vřetene stroje a použitím nového upínacího přípravku RT11032017 mohou být použity krátké upínače nástrojů. To umožňuje větší využití nástrojů z SK bez obav z vibrací vzniklých při obrábění. Důsledkem provedených vylepšení bude zkrácení průběžné doby výroby, dosažení vyšší kvality výroby při jejím zefektivnění.

Graf 1 – Rozdíl výsledných cen pro jednotlivé způsoby výroby



## 5. Závěr

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat výrobní postup při výrobě součástky Nosník. Téma práce vzniklo z potřeby zajistit bezproblémovou a pokud možno efektivnější výrobu za situace vzniklé odprodejem frézky Mazak H400N, na které se výroba od získání zakázky prováděla. Rozbor stávajícího způsobu výroby byl proveden z hlediska obrobitelnosti daného materiálu, volby nových, vhodnějších řezných nástrojů s uvedením řezných podmínek. Zamyslel jsem se nad použitými upínacími nástroji i způsobem upnutí kusu. Využití nakoupených universálních svěráků se z důvodu nutnosti používání upínacích nástrojů s velkým vyložení ukázalo jako problematické. Proto byl navržen jednoduchý upínací přípravek (výrobní výkres viz příloha D), který umožní snadný přístup k obrobku s využitím upínacích nářadí v provedení short. Tím odpadá nutnost snižovat řezné podmínky z důvodu chvění vznikajícího při obrábění.

Při výběru nového obráběcího stroje bylo nutno zohlednit jeho vytížení – volné výrobní kapacity. První možností bylo čtyřosé horizontální obráběcí centrum Mazak HCN-4000II, které je přímým nástupcem H400N. S využitím tří poloh upnutí, včetně nasazení nového upínacího přípravku je možné nasazení SK nástrojů bez nutnosti korekce jejich řezných podmínek. Druhou možností, která se nabízela, bylo využití pětiosého CNC frézovacího centra Felhmann Picomax 95. K zajištění výroby potom stačí dvě upínací polohy, s možností ideálního přístupu ke kusu. I když má P95 proti H4000II vyšší hodinovou sazbu, je jeho velkou předností možnost využití robota pro zakládání polotovarů. Tím se nabízí možnost provádět výrobu při bezobslužném provozu. Provedené ekonomické zhodnocení prokázalo, že optimalizovaný výrobní postup bude mít i ekonomický přínos. Výrobní cena byla kalkulovaná pro výrobní dávky 10, 30, 50, 100 a 200 kusů. Z tabulky Tab. 33 je patrné, že už při výrobní dávce 10 kusů je výroba součástí zisková. Nejvýhodněji se ukazuje výrobní dávka 200 ks, kdy při výrobě dojde k cenové úspoře o 100.6 Kč/ks oproti stávající technologii.

Optimalizace výrobního postupu povede k zefektivnění výroby, snížení ceny výrobku proti stávajícímu způsobu výroby a vytvoření zisku.

## 6. Zdroje

### 6.1 Internetové zdroje

- [1] Frentech Aerospace: Oprávněná hrdost. Jejich montážní sestava poletí až na Mars. *Svět průmyslu* [online]. 2016, **2016**, 2 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.svetprumyslu.cz/frentech-aerospace-opravnenahrdost-jejich-montazni-sestava-poleti-az-na-mars/>
- [2] České firmy pronikají do vesmírného byznysu. *EURO : BYZNYS* [online]. 2016, **2016**, 13 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.euro.cz/byznys/ceske-firmy-pronikaji-do-vesmirneho-byznysu-1292897>
- [3] Brněnskému výrobcí vesmírných technologií Frentech Aerospace se daří. *Průmysl.cz* [online]. 5.3.14n. 1., **2014**, 13 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/brnenskemu-vyrobci-vesmirnych-technologii-frentech-aerospace-se-dari/>
- [4] Informace o společnosti. *Frentech aerospace* . [online]. 1. 1. 2010 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: [http://www.frentech.eu/index\\_c.php](http://www.frentech.eu/index_c.php)
- [5] Hliníkový plech. *Hlinik.sk* [online]. [cit. 2017-03-1]. Dostupné z: <http://www.hlinik.sk/produkty/hlinikove-plechy/EN-AW-6082>
- [6] Tabulka slitin. *Strojmetal.cz* [online]. [cit. 2017-03-1]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [7] Hliník AlMg1Si1Mn -. *PROAL Informace* [online]. 2009 [cit. 2017-03-1]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [8] Rychloupínací svěrák NC s kombinovanými otočnými čelistmi. *WNT Česká republika s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Up%C3%ADn%C3%A1n%C3%AD%20obrobk%C5%AF/Jednoduch%C3%A9%20sv%C4%9Br%C3%A1ky/NCG/Rychloup%C3%ADnac%C3%AD%20sv%C4%9Br%C3%A1k%20NC%20s%20kombinovan%C3%BDmi%20oto%C4%8Dn%C3%BDmi%20%C4%8D/RYCHLOUP%C3%8DNAC%C3%8D%20NC%20SV%C4%9AR%C3%81K%20S%20KOMBI%20%C4%8CELISTMI%20NCG-9100-989-245-94-30KN%2080890602>

[9] Fréza ø 50. *Ceratizit group* [online]. Lucembursko, 2014 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://e-techstore.com/?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27jU7waqr3LnRpW](https://e-techstore.com/?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27jU7waqr3LnRpW)

[10] Fréza ø 50 VBD. *Ceratizit group* [online]. Lucembursko, 2014 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://e-techstore.com/?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27jU7wc{ADuwRpW](https://e-techstore.com/?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27jU7wc{ADuwRpW)

[11] Fréza ø 20. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuVHIuxm2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuVHIuxm2a0)

[12] Fréza ø 10 Hr. *Seco* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10086&storeId=10232&productId=47958&langId=10&parent\\_category\\_rn=&top\\_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10232%26langId%3d10%26catalogId%3d10086%26searchTerm%3d490VL100%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catalogId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%3d%2](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10086&storeId=10232&productId=47958&langId=10&parent_category_rn=&top_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10232%26langId%3d10%26catalogId%3d10086%26searchTerm%3d490VL100%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catalogId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%3d%2)

[13] Fréza ø 8. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuVG6HwZ2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuVG6HwZ2a0)

[14] Vrták ø 5.7. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool/?fcode=m\\_ca\\_bd\\_catdetail&m\\_ca\\_bd\\_GV\\_objky=10106057&L=17](https://www.wnt.com/mastertool/?fcode=m_ca_bd_catdetail&m_ca_bd_GV_objky=10106057&L=17)

[15] Fréza ø 10 R2.5. *Seco* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10086&storeId=10232&productId=3536&langId=10&parent\\_category\\_rn=&top\\_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10232%26langId%3d10%26catalogId%3d10086%26searchTerm%3d440100-mega%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermO](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10086&storeId=10232&productId=3536&langId=10&parent_category_rn=&top_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10232%26langId%3d10%26catalogId%3d10086%26searchTerm%3d440100-mega%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermO)

perator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%3d

[16] Fréza ø 5 R1. *Seco* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10086&storeId=10232&productId=26974&langId=10&parent\\_category\\_rn=&top\\_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10232%26langId%3d10%26catalogId%3d10086%26searchTerm%3d421050r100%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%3d](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10086&storeId=10232&productId=26974&langId=10&parent_category_rn=&top_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10232%26langId%3d10%26catalogId%3d10086%26searchTerm%3d421050r100%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%3d)

[17] Fréza ø 5. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPIk%7Bh72a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPIk%7Bh72a0)

[18] Fréza ø 2. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPIfYwe2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPIfYwe2a0)

[19] Fréza ø 2.5. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReo27kUBuPIgXXl2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReo27kUBuPIgXXl2a0)

[20] Fréza ø 6. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool/?fcode=m\\_ca\\_bd\\_catdetail&m\\_ca\\_bd\\_GV\\_objky=52115060&L=0](https://www.wnt.com/mastertool/?fcode=m_ca_bd_catdetail&m_ca_bd_GV_objky=52115060&L=0)

[21] Odhrotovač ø 6. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPseVb02a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPseVb02a0)

[22] Odhrotovač ø 4. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPschKE2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPschKE2a0)

- [23] Fréza ø 4. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPljT7S2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuPljT7S2a0)
- [24] Fréza ø 6. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuVG2S6h2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuVG2S6h2a0)
- [25] Navrtávák ø 4. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuQRAAdRy2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuQRAAdRy2a0)
- [26] Vrták ø 2.3. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMmQcCR2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMmQcCR2a0)
- [27] Vrták ø 2.8. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMmTV0U2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMmTV0U2a0)
- [28] Vrták ø 3. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuNdshmbB2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuNdshmbB2a0)
- [29] Závitník M2.5. *Emuge* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.emuge.com/products/taps/form-taps/metric-cr/b09113000025>
- [30] Výstružník ø 3.02H4. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuS2NUfc2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuS2NUfc2a0)
- [31] Navrtávák ø 12. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuKdPa0N2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuKdPa0N2a0)
- [32] Vrták ø 6.8. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuLMAqy02a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuLMAqy02a0)

- [33] Závitník M8. *Emuge* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.emuge.com/products/taps/al-taps/bottoming-metric/b05045000080>
- [34] Vrták ø 5.7. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuLM3EUa2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuLM3EUa2a0)
- [35] Fréza ø 5. *Seco* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10059&storeId=10208&productId=1086942&langId=10&parent\\_category\\_rn=&top\\_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10208%26langId%3d10%26catalogId%3d10059%26searchTerm%3dJS452050g2%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10059&storeId=10208&productId=1086942&langId=10&parent_category_rn=&top_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10208%26langId%3d10%26catalogId%3d10059%26searchTerm%3dJS452050g2%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%)
- [36] Fréza ø 2. *Seco* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10059&storeId=10208&productId=1086936&langId=10&parent\\_category\\_rn=&top\\_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10208%26langId%3d10%26catalogId%3d10059%26searchTerm%3dJS452020g2%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10059&storeId=10208&productId=1086936&langId=10&parent_category_rn=&top_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10208%26langId%3d10%26catalogId%3d10059%26searchTerm%3dJS452020g2%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAvailable%)
- [37] Fréza ø 2.3. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuUgXSID2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuUgXSID2a0)
- [38] Fréza ø 4. *Seco* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10059&storeId=10208&productId=1086940&langId=10&parent\\_category\\_rn=&top\\_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10208%26langId%3d10%26catalogId%3d10059%26searchTerm%3d%2509JS452040G2CZ%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAva](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10059&storeId=10208&productId=1086940&langId=10&parent_category_rn=&top_category=&backLink=CatalogSearchResultView%3fstoreId%3d10208%26langId%3d10%26catalogId%3d10059%26searchTerm%3d%2509JS452040G2CZ%26searchType%3d%26searchTermCaseSensitive%3d%26searchTermOperator%3d%26filterTerm%3d%26filterType%3d%26filterTermCaseSensitive%3d%26filterTermOperator%3d%26searchTermScope%3d%26catGroupId%3d%26categoryType%3d%26qtyAva)



- [39] Vrták ø 2.33: str. 523. *Emuge* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/EMUGE-Katalog\\_150-PDF.pdf](http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/EMUGE-Katalog_150-PDF.pdf)
- [40] Vrták ø 2.8: str. 523. *Emuge* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/EMUGE-Katalog\\_150-PDF.pdf](http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/EMUGE-Katalog_150-PDF.pdf)
- [41] Vrták ø 3. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReoS27kUBuLLNdA%7D2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReoS27kUBuLLNdA%7D2a0)
- [42] Pilka ø 80. *PM-TEC* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.pm-tech.cz/D00100\\_pdf\\_katalogy/PM-TECH\\_01\\_APPLITEC\\_05\\_00\\_CIRCO-Line.pdf](http://www.pm-tech.cz/D00100_pdf_katalogy/PM-TECH_01_APPLITEC_05_00_CIRCO-Line.pdf)
- [43] Trn pro nástrčnou frézu. *Walter* [online]. 2012 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page\\_G88](http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page_G88)
- [44] Upínač pro tepelné upínání ø10. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNETnQ2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNETnQ2a0)
- [45] Upínač pro tepelné upínání ø8. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNDptn2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNDptn2a0)
- [46] Upínač pro tepelné upínání ø6. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNDATJ2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNDATJ2a0)
- [47] Upínač pro tepelné upínání ø3. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNBTCf2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReo27kUBuMNBTCf2a0)
- [48] Upínač pro tepelné upínání ø4. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReoS27kUBuMNC5bG2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReoS27kUBuMNC5bG2a0)
- [49] Rychlovýměnné vložky s nastavitelnou spojkou proti přetížení. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:

[https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuRMbJhO2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuRMbJhO2a0)

[50] Rychloupínací halva pro závitování. *Walter* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page\\_G64](http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page_G64)

[51] Redukce. *Walter* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page\\_G49](http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page_G49)

[52] Upínací kužel. *Walter* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page\\_G87](http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page_G87)

[53] Kleštinové upínací pouzdro. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMP7plS2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMP7plS2a0)

[54] Kleština. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuRT0bMz2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuRT0bMz2a0)

[55] Upínač pro tepelné upínání ø20. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMNHfCK2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMNHfCK2a0)

[56] Kleština. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuRTEZr%7D2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuRTEZr%7D2a0)

[57] Kleštinové upínací pouzdro. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMP8MAf2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMP8MAf2a0)

[58] Upínač pro tepelné upínání ø12. *WNT* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m\\_cs\\_catdetail&m\\_cs\\_GV\\_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMNFGPk2a0](https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=ohfzReS27kUBuMNFGPk2a0)

[59] Rychloupínací vložka. *Walter* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page\\_G98](http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page_G98)

[60] Nástrojové materiály. *Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013\\_1\\_Nastrojove\\_materialy.pdf](http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013_1_Nastrojove_materialy.pdf)

## 6.2 Tištěné zdroje

- [61] Anton Humár. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část . . [online]. 2003 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [62] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [63] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. Část – Nástrojové materiály*. Žilina: Madia/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN: 80-968954-2-7.
- [64] BRYCHTA, Josef. Nové směry v progresivním obrábění [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008], 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [65] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006, xiv, 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
- [66] MELUZÍN, T, MELUZÍN, V. Základy ekonomiky podniku. 2. vyd., přepracované. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2007. 119 s. ISBN 978-80-214-3472-1.
- [67] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [68] Katalog společnosti Frentech. Dostupný z: <http://www.frentech.eu/userfiles/image/aktuality/Prospekt%20CZ.pdf>
- [69] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

## 7. Seznam příloh

Příloha A – Výkres zadané součásti - Nosník

Příloha B – Původní technologický postup

Příloha C – Nástrojový list

Příloha D – Výkres upínacího přípravku